SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
SMITHSONIAN INSTITUTION WASHINGTON D.C.

SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
SMITHSONIAN INSTITUTION WASHINGTON D.C.

CATALOGUE

DES LIVRES DE FONDS

DE

FORTIN, MASSON ET Cie,

SUCCESSEURS DE CROCHARD,

Place de l'École de Médecine, 1, à Paris.

I

ANATOMIE, PHYSIOLOGIE, MÉDECINE ET CHIRURGIE.

G. ANDRAL,

Membre de l'Institut, professeur à la faculté de médecine de Paris, médecin en chef de l'hôpital de la Charité, etc.

Clinique médicale, ou choix d'observations recueillies à l'hôpital de la Charité, 4e édition revue, corrigée et augmentée, 5 vol. in-8. 40 fr.

PAR LE MÊME AUTEUR AVEC LA COLLABORATION DE

GAVARRET,

Professeur de physique à la faculté de médecine de Paris.

Recherches sur les modifications de proportion de quelques **principes du sang** (fibrine, globules, matériaux solides du sérum et eau), dans les maladies. Paris, 1841, in-8. 3 fr. 50

Réponse aux principales objections dirigées contre les procédés suivis dans les **analyses du sang** et contre l'exactitude de leurs résultats. Paris, 1842, brochure in-8. 2 fr. 50

Recherches sur la quantité **d'acide carbonique** exhalé par le poumon dans l'espèce humaine. Paris, 1843, brochure in-8, avec une planche in-4. 1 fr. 25

PAR LES MÊMES AUTEURS AVEC LA COLLABORATION DE

DELAFOND,

Recherches sur la composition du **sang de quelques animaux domestiques,** dans l'état de santé et de maladie. Paris, 1842, brochure in-8. 1 fr. 50

J. BARRIER,

Chirurgien en chef de l'Hôtel-Dieu de Lyon, etc.

Traité pratique des maladies de l'enfance, fondé sur de nombreuses observations cliniques. 2e édition. Paris, 1845, 2 forts vol. in-8. 16 fr.

A. BECQUEREL.

Séméiotique des urines, ou Traité des altérations de l'urine dans les maladies, suivie d'un traité de la maladie de Bright aux divers âges de la vie. *Ouvrage couronné par l'Académie des Sciences dans sa séance du 19 décembre* 1842. 1 vol. in-8, avec 17 tableaux. 7 fr. 50

J. BAILLARGER,

Médecin des aliénées à l'hospice de la Salpêtrière.

Des hallucinations, envisagées sous le triple rapport de la psychologie, de la médecine et de la médecine légale, avec un complément historique comprenant les biographies des hallucinés les plus célèbres, ouvrage qui a obtenu le prix Civrieux, à l'Académie royale de médecine. 1 vol. in-8. — *Sous presse.* 7 fr. 50

BLONDLOT,

Docteur en médecine, professeur de chimie à l'école de médecine de Nancy, etc.

Traité analytique de la digestion, considérée particulièrement dans l'homme et dans les animaux vertébrés. Paris, 1843, in-8. 7 fr. 50

MADAME VEUVE BOIVIN,

Ex-maîtresse sage-femme, surveillante en chef de l'hospice de la Maternité, etc.

Mémorial de l'art des accouchements, ou Principes fondés sur la pratique de l'hospice de la Maternité de Paris, et sur celle des plus célèbres praticiens de Paris; *ouvrage adopté comme classique pour les élèves de la Maison d'accouchements de Paris,* 4e édition, augmentée. Paris, 1836, 2 vol. in-8, avec 143 gravures. 14 fr.

C. BONAMY ET E. BEAU.

Atlas d'anatomie descriptive du corps humain, ouvrage pouvant servir d'atlas à tous les traités d'anatomie, dédié à M. le professeur CRUVEILHIER.

Conditions de la Souscription :

L'ATLAS d'Anatomie descriptive du corps humain comprendra 210 planches format gr. in-8o jésus, toutes dessinées d'après nature et lithographiées. Il est publié par livraisons de 4 planches avec un texte explicatif et raisonné en regard de chaque planche.

L'Atlas sera divisé en 4 parties qui se vendront séparément et sans augmentation de prix; savoir :

1o Appareil de la locomotion.	Os.	Ostéologie.
	Articulations.	Syndesmologie.
	Muscles et aponévroses.	Myologie et aponévrol.
2o Appareil de la circulation.	Cœur.	Angéiologie.
	Artères.	
	Veines.	
	Vaisseaux lymphatiques.	
3o Appareil de la digestion.		Splanchnologie.
— de la respiration.		
— génito-urinaire.		
4o Appareils de sensation et d'innervation.	Organes des sens.	Névrologie.
	Moelle épinière.	
	Cerveau.	
	Nerfs.	

Prix de chaque livraison :

Avec planches noires. . . . . 2 fr.
Sur papier de Chine. . . . . 3 fr.
Avec planches coloriées. . . . . 4 fr.

*** Les souscripteurs à l'ouvrage complet, qui auront retiré leurs suites régulièrement, recevront gratuitement, avec la dernière livraison de l'ouvrage, un *Traité des préparations anatomiques*.

BOURGERY ET JACOB.

Anatomie élémentaire en 20 planches format grand colombier, représentant chacune un sujet dans son entier à la proportion de demi-nature, avec un texte explicatif à part, format in-8, formant un Manuel complet d'anatomie physiologique; ouvrage utile aux médecins, étudiants en médecine, peintres, statuaires, et à toutes les personnes qui désirent acquérir avec promptitude la connaissance précise de l'organisation du corps humain.

Chaque planche se vend séparément : noire. 6 fr.
coloriée. 12 fr.

*** L'ouvrage est terminé.

ISID. BOURDON,

Membre de l'Académie royale de médecine, et de la commission permanente des eaux minérales de France.

Guide aux eaux minérales de la France, de l'Allemagne, de la Suisse et de l'Italie, 2e édition. Paris, 1837, in-18. 3 fr. 50

J. CAPURON,

Agrégé libre de la faculté de médecine, membre de l'Académie royale de médecine.

Traité complet des accouchements; Maladies des femmes et des enfants, et Médecine légale relative aux accouchements. Paris, 1823-1828, 4 volumes in-8. 25 fr.

Chaque volume se vend séparement : 7 fr.

A. F. CHOMEL,

Professeur de clinique médicale à la faculté de Paris, etc.

Éléments de Pathologie générale, 3e édit. considérablement augmentée. Paris, 1841, in-8. 8 fr.

CIVIALE,

Membre de l'Académie royale de médecine, etc.

Traité de l'affection calculeuse, ou Recherches sur la formation, les caractères physiques et chimiques, les causes, les signes et les effets pathologiques de la pierre et de la gravelle, suivies d'un essai de statistique sur cette maladie, avec cinq planches. Paris, 1838, in-8. 10 fr.

PAR LE MÊME AUTEUR.

Traité pratique sur les maladies des organes génito-urinaires. 3 volumes in-8, 1841-1843. 22 fr.

Chaque partie se vend séparément, savoir :

Premiere partie, maladies de l'urèthre ; 1 vol. in-8, avec 8 fig. 2e édition. Paris, 1843. 8 fr.

Deuxième partie, maladies du col de la vessie et de la prostate ; 1 vol. in-8, avec 10 figures dessinées d'après nature. Paris, 1841. 7 fr.

Troisième partie, maladies du corps de la vessie. Paris, 1841, 1 vol. in-8. 7 fr.

PAR LE MÊME AUTEUR.

Traitement médical et préservatif de la pierre et de la gravelle, avec un mémoire sur les calculs de cystine. Paris, 1840, in-8. 6 fr. 50

H. CLOQUET,

Professeur agrégé de la faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie royale de médecine, etc.

Traité d'Anatomie descriptive, rédigé d'après l'ordre adopté à la faculté de médecine de Paris, 6e édition. Paris, 1835, 2 vol. in-8. 10 fr.

Planches d'anatomie, in-4, gravées en taille-douce, pour servir de complément à l'ouvrage ci-dessus :

Parties.	planches.	fig. coloriées.	fig. noires.
1re Ostéologie et Syndesmologie.	66 fr.	22 fr.	9 fr.
2e Myologie.	36	18	5
3e Névrologie.	36	18	5
4e Angéiologie.	60	30	9
5e Splanchnologie et Embryologie.	43	22	7
Prix de l'ouvrage complet.	241	110	35

*** Chaque partie est accompagnée de son texte explicatif, du même format que les planches, et se vend séparément aux prix indiqués ci-dessus.

DEZEIMERIS,

Bibliothécaire en chef de la faculté de médecine, membre de la chambre des députés.

Résumé de la médecine hippocratique, ou Aphorismes d'Hippocrate classés dans un ordre systématique et précédés d'une introduction historique. Paris, 1841, 1 vol. in-32 de 320 pages, relié. 2 fr. 50

J. J. DOUBLE,

De l'Institut.

Séméiologie générale, ou Traité des signes et de leur valeur dans les maladies. Paris, 1811-1822, 3 vol. in-8. 18 fr.

ANT. DUGÈS,

Professeur à la faculté de médecine de Montpellier.

Traité de physiologie comparée de l'homme et des animaux. 1839, 3 vol. in-8, fig. 24 fr.

Manuel d'obstétrique, ou Traité de la science et de l'art des accouchements, 3e édition corrigée par l'auteur, et revue par MM. Lallemand et Franc, professeurs à Montpellier, in-8, avec 48 figures gravées. Paris, 1840. 8 fr.

EDWARDS (MILNE),

Docteur en médecine, membre de l'Institut, etc.

ET VAVASSEUR.

Nouveau formulaire pratique des hôpitaux, ou Choix de formules des hôpitaux civils et militaires de France, d'Angleterre, d'Allemagne, d'Italie, etc., contenant l'indication des doses auxquelles on administre les substances simples, et les préparations magistrales et officinales du *Codex,* l'emploi des médicaments nouveaux et des notions sur l'art de formuler. 4e édit., entièrement refondue, avec les formules exprimées en mesures décimales, et augmentée d'une notice statistique sur les hôpitaux de Paris ; par Mialhe, professeur agrégé de la faculté de médecine de Paris. 1 vol. in-32. Paris, 1841. 3 fr. 50

— Le même, avec un cartonnage élégant. 4 fr.

⁂ L'exécution typographique de ce formulaire, imprimé sur papier collé et avec encadrements, a permis d'en faire un petit volume des plus portatifs, quoiqu'il renferme beaucoup plus de formules qu'aucun autre ouvrage de ce genre.

FOVILLE,

Médecin en chef de la maison royale de Charenton.

Traité complet de l'anatomie, de la physiologie et de la pathologie du système nerveux cérébro-spinal : ouvrage publié en 3 parties. En vente la première partie comprenant l'**Anatomie**. Paris, 1843. 1 vol. in-8o et 1 atlas cartonné de 23 planches petit in-folio, dessinées d'après nature et lithographiées par MM. E. Beau et Bion, sur les préparations de M. Foville. 28 fr.

Chaque partie se vendra séparément.

A. GRISOLLE,

Médecin des hôpitaux, agrégé de la faculté de médecine de Paris, etc.

Traité élémentaire et pratique de pathologie interne. Paris, 1844. 2 forts vol. in-8. 16 fr.

J. HATIN,

Professeur agrégé de la faculté de médecine de Paris (section d'accouchements), etc.

Cours complet d'accouchements et de maladies des femmes et des enfants, avec huit tableaux synoptiques, 2e édit. augmentée, et accompagnée d'un atlas de 17 planches in-4 dessinées et lithographiées par Émile Beau. Paris, 1835-1845, 1 vol. in-8 et atlas. 9 fr.

JOHN HUNTER.

Œuvres complètes, traduction de l'anglais sur l'édition du docteur J. F. PALMER, par le docteur RICHELOT. Paris, 1843.

Les OEuvres complètes de Hunter forment 4 forts volumes in-8, et sont accompagnées d'un atlas de 64 planches lithographiées par E. BEAU. Prix des 4 vol. avec l'atlas cartonné. 40 fr.

Chaque volume se vend séparément. 9 fr.

Le tome II contient : 1° le *Traité des dents,* avec des notes de Thomas BELL, et une préface de M. OUDET ; 2° et le *Traité de la syphilis,* avec des additions par MM. BARRINGTON et RICORD.

J. LEFOULON,

Chirurgien-dentiste.

Nouveau traité théorique et pratique de l'art du dentiste. 1 beau volume in-8 de plus de 500 pages, avec 130 fig. intercalées dans le texte. Paris, 1841. 7 fr.

F. LÉLUT,

Membre de l'Institut, médecin en chef de la troisième section des aliénées de l'hospice de la Salpêtrière, médecin de la prison du dépôt des condamnés.

Rejet de l'organologie phrénologique de Gall et de ses successeurs. Paris, 1843, 1 vol. in-8, avec 2 planches. 7 fr.

A. LENOIR,

Professeur agrégé de la faculté de médecine, chirurgien de l'hôpital Necker.

Précis de médecine opératoire basée sur l'anatomie et sur la pathologie chirurgicale. 1 vol. grand in-8 jésus, imprimé sur deux colonnes et accompagné d'un atlas de 100 pl., du même format que le texte, toutes dessinées d'après nature et lithographiées par M. E. BEAU. *Sous presse.*

L'ouvrage sera publié en 30 livraisons qui paraîtront de mois en mois, et qui contiendront chacune 2 feuillets de texte et 3 planches ou 4 planches sans texte. Prix de la livraison, avec figures noires. 2 fr.

— figures coloriées. 3 fr.

LONGET,

Lauréat de l'Institut (Académie des sciences), docteur en médecine de la faculté de Paris, chirurgien de la première succursale de la maison royale de Saint-Denis.

Anatomie et physiologie du système nerveux de l'homme et des animaux vertébrés, ouvrage contenant des observations pathologiques relatives au système nerveux, et des expériences sur les animaux des classes supérieures. *Ouvrage couronné par l'Institut de France.* Paris, 1842, 2 forts vol. in-8, avec planches lithographiées par E. BEAU. 17 fr.

JUSTUS LIEBIG.

Chimie organique appliquée à la physiologie animale et à la pathologie, traduction faite sur les manuscrits de l'auteur par Charles Gerhardt, professeur de chimie à la faculté des sciences de Montpellier. Paris, 1842, 1 beau vol in-8. 7 fr. 50

LUGOL,

Médecin de l'hôpital Saint-Louis.

Recherches et observations sur les causes des maladies scrofuleuses. Paris, 1844, 1 vol. in-8. 7 fr.

LOUIS.

Mémoires de la Société médicale d'observation, 2 vol. in-8.

Le tome 1er, contenant : Avertissement, par Louis, président perpétuel ; — de l'Examen des maladies et de la recherche des faits généraux, par le même ; — Essai sur quelques points de l'histoire de la cataracte, par Th. Maunoir ; — Recherches sur l'Emphysème des poumons, par Louis ; — Recherches sur le cœur et le système artériel chez l'homme, par Bizot ; — Mémoire analytique sur l'orchite blennorrhagique, par Marc-d'Espine, 1 beau vol. in-8. Paris, 1836. 8 fr.

Le tome II contenant : 1° de la fièvre jaune observée à Gibraltar, par Louis ; — 2° sur le pouls des enfants, par Valleix ; — 3° recherches sur une production osseuse à la surface du crâne chez les femmes mortes en couches, par Ducrest ; — 4° sur la bronchite capillaire, par Fauvel, etc. 1 fort vol. in-8. Paris, 1844. 8 fr.

MANEC,

Chef des travaux anatomiques de l'administration des hospices, chirurgien de la Salpêtrière.

Traité théorique et pratique de la ligature des artères. Ouvrage couronné par l'Institut de France (*Concours Montyon*). 2e édit. Paris, 1835. 1 vol. in-folio, cartonné, avec 14 planches coloriées. 15 fr.

L. M. A. MOREAU-BOUTARD,

Docteur en médecine de la faculté de Paris, chirurgien aide-major, lauréat (premier prix) du Val-de-Grâce, membre de la société anatomique.

Précis de chirurgie élémentaire, leçons professées à l'hôpital militaire de perfectionnement du Val-de-Grâce en 1843 et 1844, avec 95 figures intercalées dans le texte. Paris, 1845, 1 vol. grand in-18. 2 fr. 25

A. MOURE ET H. MARTIN,

Docteurs en médecine.

Précis de thérapeutique spéciale, de pharmaceutique et de pharmacologie. Paris, 1845, 1 beau volume grand in-18 compacte, contenant la matière de 2 forts volumes in-8. 6 fr.

D. PH. MUTEL,

Docteur en médecine, chirurgien-major au 52e de ligne

Éléments d'hygiène militaire. Paris, 1843, 1 vol. gr. in-18. 3 fr. 50

ORFILA,

Doyen de la faculté de médecine de Paris, membre du conseil royal de l'instruction publique, etc.

Traité de toxicologie, 4e édition entièrement refondue. Paris, 1843, 2 vol. in-8. 16 fr.

PH. RICORD,

Docteur en médecine, chirurgien de l'hôpital des vénériens de Paris, professeur de clinique et de pathologie spéciale.

Traité pratique des maladies vénériennes, ou Recherches critiques et expérimentales sur l'inoculation appliquée à l'étude de ces maladies, suivies d'un résumé thérapeutique et d'un formulaire spécial. Paris, 1838, in-8, avec une planche. 9 fr.

CH. SÉDILLOT,

Chirurgien-major, professeur de médecine opératoire à la faculté de médecine de Strasbourg, chirurgien en chef de l'hôpital militaire de la même ville, etc.

Traité de médecine opératoire, bandages et appareils. Paris, 1844, 1 fort vol. in-8, avec plus de 300 figures dans le texte. 14 fr.

PAR LE MÊME AUTEUR.

Manuel complet de médecine légale, considérée dans ses rapports avec la législation actuelle. 2e édition, revue et augmentée. Paris, 1836, in-18. 3 fr. 50

J. F. X. SIGAUD,

Médecin de Sa Majesté l'empereur don Pedre II, etc.

Du climat et des maladies du Brésil, ou Statistique médicale de cet empire. Paris, 1844, 1 volume grand in-8. 9 fr.

J. J. VIREY,

Membre de l'Académie royale de médecine.

Histoire naturelle du genre humain, 2e édition augmentée. Paris, 1824, 3 vol. in-8, fig. col. 18 fr.

PAR LE MÊME AUTEUR.

De la femme, sous ses rapports physiologiques, moraux et littéraires, 2e édition, augmentée et complétée par une dissertation sur un sujet important. Paris, 1825, in-8. 7 fr.

II

PHYSIQUE, CHIMIE, PHARMACIE.

BARRESWIL ET SOBRERO.

Appendice à tous les traités d'analyse chimique, recueil des observations publiées depuis dix ans sur l'analyse qualitative et quantitative. 1 vol. in-8, avec une planche et figures dans le texte. Paris, 1843. 7 fr.

BERZÉLIUS,

Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences de Stockholm.

Rapport annuel sur les progrès de la chimie, présenté le 31 mars de chaque année à l'académie des sciences de Stockholm, traduit du suédois par PH. PLANTAMOUR; rapports présentés de 1840 à 1844, 5 volumes in-8, prix de chacun. 5 fr.

J. DUMAS,

Membre de l'Institut, doyen de la faculté des sciences de Paris, professeur à la faculté de médecine, etc.

ET BOUSSINGAULT,

Membre de l'Institut.

Essai de statique chimique des êtres organisés, leçon professée par M. DUMAS à l'École de médecine, le 21 août 1841, pour la clôture de son cours. 3e édition, augmentée de documents nouveaux. Paris, février 1844, in-8. 3 fr.

D. C. REMIGIUS FRESENIUS,

Professeur de chimie, ex-préparateur en chef au laboratoire de l'université de Giessen.

Précis d'analyse chimique qualitative, ou Traité des opérations chimiques, des réactifs et de leur action sur les corps les plus répandus; suivi d'un procédé systématique d'analyse appliquée aux corps le plus fréquemment employés en pharmacie et dans les arts, édition française, publiée sur la troisième édition allemande par le docteur F. SACC fils. Paris, 1845, 1 vol. gr. in-18. 3 fr. 50

PAR LE MÊME AUTEUR.

Précis d'analyse quantitative, 1 vol. grand in-18. — *Sous Presse.*

GAY-LUSSAC ET THÉNARD.

Recherches physico-chimiques faites sur la pile, sur la préparation chimique et les propriétés du potassium et du sodium, sur la décomposition de l'acide boracique, sur les acides fluorique, muriatique, oxygéné, sur l'action chimique de la lumière, sur l'analyse végétale et animale, etc. Paris, 1811, 2 vol. in-8, avec 6 planches. 8 fr.

CH. GERHARDT,

Professeur de chimie à la faculté des sciences de Montpellier, etc.

Précis de chimie organique. Paris, 1844-1845, 2 vol. in-8. 16 fr.

J. GIRARDIN,

Professeur de chimie industrielle, membre de plusieurs sociétés savantes.

Leçons de chimie élémentaire appliquée **aux arts industriels,** faites le dimanche à l'école municipale de Rouen, 2e édition, considérablement augmentée. Paris, 1838, 1 vol. in-8, avec figures et échantillons de couleur intercalés dans le texte. 10 fr.

PAR LE MÊME AUTEUR.

Des fumiers considérés comme engrais, fragments de leçons de chimie agricole faites à l'école d'agriculture et d'économie rurale du département de la Seine-Inférieure, par J. Girardin. 3e édition, revue, corrigée et augmentée. Paris, 1844, 1 vol. in-24. 1 fr. 25

JUSTUS LIEBIG,

Professeur de chimie à l'université de Giessen.

Traité de chimie organique, édition française, revue et considérablement augmentée par l'auteur, et publiée par Ch. Gerhardt, professeur de chimie à la faculté des sciences de Montpellier. Paris, 1841-1844, 3 vol. in-8. 25 fr.

PAR LE MÊME AUTEUR.

Lettres sur la chimie, et sur ses applications à l'industrie, à la physiologie et à l'agriculture, traduites par le docteur G. W. Bichon, 1 vol. grand in-18, avec un portrait de M. Liebig dessiné d'après nature. 3 fr. 50

PAR LE MÊME AUTEUR.

La chimie organique appliquée à la physiologie animale et à la pathologie, traduction faite sur les manuscrits de l'auteur par Ch. Gerhardt, professeur à la faculté des sciences de Montpellier. Paris, octobre 1842, 1 vol. in-8. 7 fr. 50

PAR LE MÊME AUTEUR.

La chimie appliquée à la physiologie végétale et à l'agriculture. Paris, 1844, 2e édition considérablement augmentée ; traduction faite sur la 4e édition allemande par Ch. Gerhardt et revue par M. J. Liebig. 1 vol. in-8. 7 fr. 50

C. MATTEUCCI,

Professeur de physique à l'université de Pise.

Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux, suivi d'études anatomiques sur le système nerveux et sur l'organe électrique de la torpille, par M. Paul Savi. Paris, 1844, 1 vol. in-8, avec 6 planches in-4. 8 fr.

PAR LE MÊME AUTEUR.

Leçons sur les phénomènes physiques et chimiques des corps vivants professées à Pise, en 1844, par M. C. Matteucci. Édition française publiée sous les yeux de l'auteur, avec des additions considérables, par M. Leblanc. Paris, 1845, 1 vol. grand in-18. 3 fr. 50

L. MIALHE,

Docteur en médecine, pharmacien, professeur agrégé de la faculté de médecine, ex-pharmacien en chef de l'hôpital Saint-Antoine, etc.

Traité de l'art de formuler, ou Notions de pharmacologie appliquée à la médecine. Paris, 1845, 1 vol. grand in-18. 4 fr. 50

ORFILA,

Doyen de la faculté de médecine de Paris, membre du conseil royal de l'instruction publique, etc.

Éléments de chimie, 7e édition entièrement refondue. Paris, 1843, 2 vol. in-8, avec 10 planches. 16 fr.

PAR LE MÊME AUTEUR.

Toxicologie générale, 4e édition entièrement refondue. Paris, 1843, 2 vol. in-8 avec 1 planche. 16 fr.

PAYEN,

Membre de l'Institut, professeur de chimie au Conservatoire des arts et métiers, etc.

Mémoires sur les développements des végétaux. Paris, 1843, 1 vol. in-4, avec 16 planches gravées et la plupart coloriées. 24 fr.

PERSOZ,

Professeur de chimie à la faculté des sciences de Strasbourg, etc.

Traité théorique et pratique de l'impression des tissus. 2 vol. in-8, avec 120 figures et 250 échantillons d'étoffes, intercalés dans le texte, et accompagnés de 10 planches in-4 gravées en taille-douce.
— *Sous presse*, pour paraître en août 1845.

C. J. PLATTNER,

Essayeur aux mines de Freiberg.

Tableaux des caractères que présentent au chalumeau, les alcalis, les terres et les oxydes métalliques, soit seuls, soit avec des réactifs, extraits du traité des essais au chalumeau et traduit de l'allemand, par A. Sobrero D. M. Paris, 1843, 4 tableaux in-folio, brochés in-4. 2 fr.

SOUBEIRAN,

Professeur à l'école de pharmacie, pharmacien en chef des hôpitaux et hospices civils de Paris, directeur de la pharmacie centrale des hôpitaux, membre de l'académie royale de médecine, etc., etc.

Nouveau traité de pharmacie théorique et pratique, 2e édition dans laquelle les formules sont exprimées en mesures décimales. Paris, 1840. 2 forts vol. in-8, avec figures imprimées dans le texte. 16 fr.

PAR LE MÊME AUTEUR.

Notice sur la fabrication des eaux minérales. Paris, 1843, 1 vol. in-12, avec figures intercalées dans le texte. 4 fr.

PAR LE MÊME AUTEUR.

Précis élémentaire de physique, 2e édition augmentée. Paris, 1844. 1 vol. in-8, avec 13 planches in-4. 6 fr. 50

THÉNARD,

Pair de France, membre de l'Institut, conseiller au conseil royal de l'instruction publique, etc., etc.

Traité de chimie élémentaire, 6e édition. Paris, 1834-1836, 5 forts vol. in-8, avec un très-bel atlas in-4 de planches dessinées et gravées par le professeur Leblanc. 40 fr.

COURS ÉLÉMENTAIRE

D'HISTOIRE NATURELLE.

LE COURS ÉLÉMENTAIRE

D'HISTOIRE NATURELLE

SE COMPOSE DE

LA ZOOLOGIE,

PAR M. MILNE-EDWARDS.

1 volume in-12, figures. — Prix : 6 francs.

LA MINÉRALOGIE ET LA GÉOLOGIE,

PAR M. F.-S. BEUDANT.

1 volume in-12, figures. — Prix : 6 francs.

LA BOTANIQUE,

PAR M. A. DE JUSSIEU.

1 volume in-12, figures. — Prix : 6 francs.

Imprimerie de Bourgogne et Martinet, rue Jacob, 30.

COURS ÉLÉMENTAIRE

D'HISTOIRE NATURELLE

A L'USAGE

DES COLLÉGES ET DES MAISONS D'ÉDUCATION,

RÉDIGÉ

CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DE L'UNIVERSITÉ DU 14 SEPTEMBRE 1840;

PAR MM.

F.-S. BEUDANT, MILNE-EDWARDS ET A. DE JUSSIEU.

Adopté

PAR LE CONSEIL ROYAL D'INSTRUCTION PUBLIQUE POUR L'ENSEIGNEMENT DANS LES COLLÉGES.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

PAR M. F.-S. BEUDANT,

d'el'Académie royale des Sciences, Inspecteur général des Études, etc.

LIBRARY, U.S. NATIONAL MUSEUM
MAR 1 1882
SMITHSONIAN INSTITUTION

Minéralogie.

PARIS

LANGLOIS ET LECLERCQ, Rue de la Harpe, 81. | FORTIN, MASSON ET Cie, Place de l'École-de-Médecine, 1.

MÊMES MAISONS, CHEZ L. MICHELSEN, A LEIPZIG.

a.

QE
26
B5
1841
SCNHRB

PROGRAMME

POUR

L'ENSEIGNEMENT DE L'HISTOIRE NATURELLE

DANS LES COLLÉGES,

ADOPTÉ PAR LE CONSEIL ROYAL DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE

(14 septembre 1840).

RÉGNE MINÉRAL (1).

1° MINÉRALOGIE.

XXV. Notions générales sur les corps bruts ou inorganiques. — Considérations sur la manière de les étudier.

Caractères physiques des minéraux. Forme et structure essentielles et accidentelles ; — changements dont elles sont susceptibles ; causes de ces changements.

XXVI. Propriétés optiques. — Réfraction simple et double ; — rapport avec la forme ; — éclat et couleurs, etc. ; — élasticité, dureté, ténacité, poids spécifique et caractères divers.

XXVII. *Caractères chimiques des minéraux.* Composition des minéraux ; — ses lois ; manière de les exprimer ; — caractères que l'on en tire.

Classification des minéraux. Application des notions précédentes à la classification des minéraux ; — espèces, genres, familles, etc.

XXVIII. Notions sur les principales matières minérales et sur leur manière d'être dans la nature.

---

(1) Les programmes relatifs à la zoologie et à la botanique se trouvent en tête des volumes consacrés à ces sciences.

2° GÉOLOGIE.

XXIX. Notions sur la forme générale de la terre et sur la composition de son écorce solide.

Phénomènes géologiques de l'époque actuelle. — Tremblements de terre, — soulèvements, — volcans, — alluvions, — formations madréporiques, etc.

XXX. *Applications de ces notions à l'étude du mode de formation de la croûte solide du globe :* — terrains de sédiment et terrains de cristallisation, — leurs caractères. — Superposition des couches. — Notions sur les fossiles. — Ages relatifs des divers dépôts de sédiment indiqués par la nature des fossiles, les rapports de superposition, les différences d'inclinaison, etc.

XXXI. Notions sur les principaux dépôts de sédiment ; — notions sur les terrains de cristallisation ; — principales roches de cristallisation, leur mode de formation et leur apparition à diverses époques ; — influence de ces roches sur les dépôts de sédiment.

XXXII. Notions sur les grands dépôts de combustibles, de matières salines et de minerais : — gisement des pierres précieuses. — Sources et puits artésiens.

XXXIII. Résumé sur les révolutions du globe, et coup d'œil sur les animaux et les végétaux qui en peuplaient la surface aux diverses époques géologiques.

TABLE ANALYTIQUE

DE LA MINÉRALOGIE

PAR ORDRE DE LEÇONS.

PREMIÈRE LEÇON.

Différence entre les corps organisés et les corps bruts. Définition des minéraux. Objet de la minéralogie et de la géologie. Distinction des formes régulières et des formes accidentelles. Pag. 1 à 8.

Étude des cristaux. — Mesure des angles, goniomètres. Faits généraux de cristallographie. 8-12.

Passages de certains cristaux les uns aux autres, par modifications de leurs diverses parties : 1° modifications sur toutes les parties du même nom; 2° modifications sur quelques unes de ces parties; 3° transformations particulières des solides obliques. 12-21.

Division de tous les cristaux en six groupes, ou systèmes de cristallisation. Caractères physiques et géométriques de chacun d'eux. Réduction de tous les cristaux à six formes. 21-33.

Loi de symétrie et ses exceptions apparentes. Dimorphisme et isomorphisme. 33-38.

Causes des variations des formes cristallines et des changements de système. 38-40.

Groupement régulier des cristaux. Transposition et hémitropie. 40-44.

Déformation et oblitération des cristaux. 45-47.

Configurations accidentelles. — Trémies, dendrites, stalactites, pisolites, rognons, incrustations, pétrifications, moulage, retrait. 47-55.

Structure des corps bruts. — Structure régulière. Clivage. Accroissement. Structure irrégulière ou accidentelle. Cassure. 55-63.

DEUXIÈME LEÇON.

Propriétés optiques des minéraux. — Réfraction simple et double. Moyens d'observation et de détermination. Moyens de constater s'il y a un axe ou deux axes; si l'axe est attractif ou répulsif; quel est l'écart des axes, et le diamètre des anneaux. 63-72.

Angles de polarisation, polychroïsme, éclat, astéries, cercles parhéliques, couronnes. 73-77.

Couleurs propres et accidentelles, couleurs superficielles, iris, phosphorescence. 77-80.

Propriétés physiques diverses. — Élasticité, dureté, poids spécifique. Électricité et magnétisme. Action sur le toucher. Odeur et saveur. Déliquescence et efflorescence. 80-89.

TROISIÈME LEÇON.

Composition chimique des minéraux. — Corps simples naturels. Corps électro-positifs et électro-négatifs. Moyens d'essais, petits instruments et manière d'opérer. 89-94.

Expériences pour la découverte des principes électro-négatifs. 94-97.

Recherche des bases. 97-101.

Nécessité de l'analyse, moyens, exemples. 101-104.

Comparaison et énonciation des analyses. Lois de combinaisons. Énonciation atomique. Transformation des analyses en formules. Signes employés. Lois des corps oxygénés. Signes minéralogiques et signes chimiques. Passage d'une signe à l'autre. 104-112.

Discussion des analyses, nécessité, bases, exemples. 112-115.

QUATRIÈME ET CINQUIÈME LEÇON.

Classification des minéraux. — Définition, méthode naturelle et artificielle; comparaison des corps bruts. Individu minéralogique, espèces, genres, tribus, familles. Difficulté de l'état actuel. Variétés de l'espèce, métis. 117-123.

Tableau des espèces minérales. 124.-143.

Caractères des groupes principaux et des principales espèces. 144 et suivantes.

OBSERVATIONS.

Il n'est pas facile de présenter tant de matières en quatre ou cinq leçons, et le professeur le plus habile a besoin de se préparer sérieusement pour ne rien oublier d'essentiel, en se bornant cependant aux généralités strictement nécessaires. Voici, à cet égard, quelques moyens que l'expérience nous a fournis pour arriver au meilleur résultat possible dans le peu de temps dont on peut disposer.

1° Pour la partie cristallographique, le professeur doit se procurer des tableaux où les cristaux soient dessinés en grand, afin que les élèves puissent les voir facilement de leurs places, et coloriés suivant les modifications principales dont ils sont susceptibles. Quelques mots d'explication sur ces figures suffiront alors pour que les yeux saisissent les transformations des formes les unes dans les autres, pour que les jeunes gens puissent comprendre les propriétés physiques des systèmes cristallins, les diverses sortes de groupements, etc., dont le détail devient si long dans un livre.

Ces tableaux doivent rester sous les yeux des élèves en même temps qu'une collection choisie, bien étiquetée, des cristaux des différents systèmes, et une suite bien faite des formes accidentelles, des structures, que le professeur peut se contenter alors de citer brièvement (1).

2° Pour les propriétés optiques, le professeur doit exposer rapidement les faits de réfraction, de polychroïsme, d'astérisme; puis attendre un moment de récréation, ou la leçon de physique qui a rapport aux phénomènes, pour les montrer au moyen des appareils de projection, qui permettent à tous les élèves à la fois de voir les résultats de l'expérience, même avec la lumière d'une lampe Carcel. On peut aussi faire voir ces phénomènes au moyen de séries de lames polies montées devant un plan de polarisation avec une tourmaline mobile placée en avant et qu'on puisse faire glisser de l'une à l'autre. De l'une ou de l'autre manière, chacun peut voir, sans perdre de temps, les différents faits énumérés et en conserver une idée très nette.

Diverses collections bien étiquetées doivent être mises sous les yeux des élèves, et même en partie entre leurs mains, à un moment donné, pour les couleurs, pour les duretés diverses, pour certains poids spécifiques, pour le pouvoir refroidissant, etc. Il n'y a pas d'explication qui puisse remplacer ici la vue et le toucher.

Par ces moyens la leçon peut devenir très courte, et il peut rester du temps pour l'interrogation sur la leçon précédente.

3° Relativement à la composition chimique, les essais, sur une échelle plus grande qu'à l'ordinaire, doivent être préparés d'avance, rangés et étiquetés de manière que, les opérations ayant été faites devant les élèves, les résultats permanents puissent être présentés dans l'intervalle des deux leçons consécutives. Les résultats passagers doivent seuls être vus ou sentis immédiatement, et les expérience qui les produisent doivent avoir été disposées pour cela.

Les opérations se font ainsi très promptement, et il reste beaucoup de temps pour l'exposition de la théorie atomique, les formules de composition, la discussion des analyses, dont il faut plutôt donner l'esprit que le calcul; enfin pour diverses interrogations.

4° et 5° Les leçons sur les espèces minérales doivent se borner aux moyens de classification des corps bruts et à l'explication du tableau, qu'il faut avoir tracé en grand. On doit y montrer la liaison des groupes principaux, dont on rappelle alors les propriétés, et celle des diverses espèces, que l'on compare entre elles sous le rapport des caractères généraux, des gisements et des usages.

---

(1) Nous indiquerons avec plaisir aux professeurs où et comment ils pourront se procurer ces collections et tous les objets du cours.

Tout le reste ne peut être une affaire de classe; et à cet égard il faut qu'une collection, peu nombreuse, mais convenablement choisie, rangée sous des vitres et bien étiquetée, soit mise sous les yeux des élèves tant qu'il est nécessaire.

Généralement, on doit veiller à ce que, dans l'intervalle des leçons, les élèves lisent ce qui a rapport à la dernière (en passant, s'ils veulent, tout ce qui est en petits caractères), et qu'ils voient les échantillons qui établissent les faits qu'on leur a exposés.

FAUTES ESSENTIELLES A CORRIGER.

Page 4, *ligne* 6, d'une destruction; *lisez :* et une destruction.
15, 20, se présente; *lisez :* présente.
22, 16, entre elles de 109d 28' 16"; *lisez :* entre elles (de 109d 28' 16").
38, 3, et l'autre; *lisez :* et de l'autre.
17, § 122; *lisez :* § 135.
57, 3, 1 molécule en largeur et 3 en hauteur; *lisez :* et 2 en hauteur.
64, 3, une autre : ainsi... *lisez :* une autre. Ainsi...
4, plongés. Il y a... *lisez :* plongés, il y a...
71, 4, 35° 75'; *lisez :* 35° 25'.
98, 19, § 120, 2o; *lisez :* § 125, 2o.
107, 7, en remontant : $n : n' : n$; *lisez :* $n : n' : n''$.
108, 1, 377, 478; *lisez :* 377, 512.
14, alumine^3; *lisez :* alumine^1.
2, 15, silice^2... Si^4; *lisez :* silice^1... Si^2.
108, 27, As; *lisez :* As ou Ar.
39, Ch; *lisez :* Ch ou Cl.
153, 3, en remontant, M. Awdejew fait voir; *lisez :* a fait voir.
180, 23, le Blende; *lisez :* la Blende.
238, 17, carrières; *lisez :* cavernes.
241, 39 } stalactiques; *lisez :* stalactitiques.
242, 26 }

III

HISTOIRE NATURELLE, AGRICULTURE.

V. AUDOUIN,

Membre de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle.

Histoire des insectes nuisibles à la vigne et particulièrement de la pyrale qui dévaste les vignobles des départements de la Côte-d'Or, de Saône-et-Loire, du Rhône, de l'Hérault, des Pyrénées-Orientales, de la Haute-Garonne, de la Charente-Inférieure et de Seine-et-Oise; avec l'indication des moyens à l'aide desquels on peut espérer de la détruire. Ouvrage publié sous les auspices du ministre des travaux publics, de l'agriculture et du commerce, et de MM. les membres des conseils généraux des départements ravagés.

Un volume grand in-4 imprimé avec luxe, accompagné d'un atlas de 23 planches gravées et coloriées d'après nature, représentant l'insecte à toutes les époques de sa vie, et la vigne dans ses états de dévastation. Paris, 1842. 72 fr.

Le même avec une reliure élégante. 80 fr.

PAR LE MÊME AUTEUR AVEC LA COLLABORATION DE

MILNE EDWARDS.

Recherches pour servir à l'histoire naturelle du littoral de la France, ou Recueil de Mémoires sur l'anatomie, la physiologie, la classification et les mœurs des animaux de nos côtes. Voyage à Granville, aux îles Chaussey et à Saint-Malo; 2 vol. grand in-8, ornés de planches gravées et coloriées avec le plus grand soin.

Tome I^er^. Introduction. 17 fr.

Tome II^e^. Annélides. *Première partie.* 17 fr.

MICHEL ADANSON,

De l'Institut.

Cours d'histoire naturelle fait en 1772, publié sous les auspices de M. Adanson, son neveu, avec une introduction et des notes par M. L. P. Payer, agrégé de la Faculté des sciences. L'ouvrage sera publié en 4 vol. gr. in-18.

En vente le tome Ier, contenant les Mammifères et les Oiseaux. Prix : 5 fr.

AD. BRONGNIART,

Membre de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle, etc.

Histoire des végétaux fossiles, ou Recherches botaniques et géologiques sur les végétaux renfermés dans les diverses couches du globe. Paris, 1828-1839; ouvrage publié en 2 vol. grand in-4 et 300 planches, paraissant par livraisons de 4 à 8 feuilles de texte et de 15 planches. Prix de chaque livraison. 13 fr.

*** Les livraisons 1 à 12 formant le premier volume, et les trois premières (13 à 15) du tome II sont en vente; les livraisons 16 et 17 paraîtront en même temps en 1845.

PAR LE MÊME AUTEUR.

Énumération des genres de plantes cultivés au Muséum d'histoire naturelle de Paris, suivant l'ordre établi dans l'école de botanique, en 1843. Paris, 1843, 1 vol. in-12. Prix. 2 fr. 50

Dr W. BUCKLAND,

Chanoine de l'église du Christ, professeur de géologie et de minéralogie à l'université d'Oxford.

De la géologie et de la minéralogie, considérées dans leurs rapports avec la théologie naturelle, traduit de l'anglais par M. Doyère, professeur au collége Henri IV; ouvrage adopté par le conseil royal de l'instruction publique et couronné par l'Institut de France, dans la séance du 31 mai 1839; 2 beaux vol. in-8, cartonnés, ornés de plus de 80 planches et d'une carte géologique coloriée. Paris, 1838. 28 fr.

H. W. BUEK.

Genera, species et synonyma **Candolleana,** alphabetico ordine disposita, seu Index generalis et specialis ad A. P. Decandolle Prodromum systematis naturalis regni vegetabilis. Partes I et II continentes tomos operis Candolleani sex et sectionem priorem septimi. Berlin, 1842, 1 vol. in-8. 20 fr.

ACHILLE COMTE,

Chef de bureau au ministère de l'instruction publique, professeur d'histoire naturelle au collége royal de Charlemagne, etc.

Règne animal de Cuvier, disposé en tableaux méthodiques, ouvrage adopté par le conseil royal de l'instruction publique pour l'enseignement de l'histoire naturelle dans les colléges.

Chacun des soixante-dix-huit ordres du règne animal se trouve représenté et décrit dans un ou plusieurs tableaux. La collection comprend quatre-vingt-onze tableaux sur grand colombier, représentant environ *cinq mille figures.* 113 fr. 75

Demi-reliure en 2 tomes, avec dos en maroquin. 25 fr.

Chaque tableau se vend séparément. 1 fr. 25

Les diverses classes du règne animal sont résumées en quelques tableaux et peuvent former des atlas séparés, ainsi qu'il suit :

Titre orné d'un beau portrait de Cuvier, et suivi d'un rapport fait à l'Institut. . . .		1
Introduction à l'étude du règne animal.		1
1re *division.* — Vertébrés. 33 tableaux.	Races humaines et Mammifères.	8
	Oiseaux.	9
2e *division.*	Reptiles et Poissons.	16
3e *division.* — Articulés. 37 tableaux.	Mollusques	11
	Crustacés, Annélides et Arachnides.	12
	Insectes.	25
4e *division.*	Rayonnés.	8

⁂ Le titre et le tableau général d'introduction pourront être placés en tête de chaque atlas, si cet atlas est pris séparément. — On recevrait cartonné l'atlas de l'une des divisions ou des sous-divisions, en ajoutant 15 centimes au prix de chacun des tableaux qui la composent.

PAR LE MÊME AUTEUR.

Introduction au Règne végétal, de A. L. de Jussieu, disposée en tableau méthodique, une feuille grand colombier. 1 fr. 25

JUSTUS LIEBIG.

La Chimie appliquée à la physiologie végétale et à l'agriculture. Paris, 1844, 2e édition considérablement augmentée; traduction faite sur la 4e édition allemande par Ch. Gerhardt et revue par M. J. Liebig, 1 vol. in-8. 7 fr. 50

E. COSSON ET E. GERMAIN.

Flore descriptive et analytique des environs de Paris, ou Description des plantes qui croissent spontanément dans cette région et de celles qui y sont généralement cultivées, accompagnée de tableaux dichotomiques des genres et des espèces; 1 vol. grand in-18 en deux parties, texte compacte, avec une carte. Paris, 1845. 13 fr.

Cet ouvrage, entièrement basé sur des recherches nouvelles, réunit en un même volume la description complète des familles, des genres et des espèces des environs de Paris, et des tableaux analytiques destinés à en faciliter la détermination.

PAR LES MÊMES AUTEURS.

Atlas de la Flore des environs de Paris, ou Illustration de la plupart des espèces litigieuses de cette région accompagnée d'un texte explicatif, 1 vol. grand in-18 contenant au moins 40 planches gravées en taille-douce. 9 fr.

Les planches, toutes dessinées d'après nature par M. le docteur E. Germain, sous les yeux de son collaborateur, sont gravées avec le plus grand soin par les artistes les plus distingués. — Ces planches, bien que rentrant dans le format portatif de la *Flore*, donnent chacune plusieurs espèces accompagnées de l'analyse grossie des caractères spécifiques. Pour les espèces nouvelles, et pour les plantes qui n'ont point encore été illustrées, les auteurs ont généralement donné des échantillons complets; ils ont également figuré toutes les espèces d'un grand nombre de genres d'une étude difficile. Plusieurs planches sont entièrement consacrées à des détails d'analyse destinés à faciliter l'étude des genres dans les familles les plus importantes. — Un texte explicatif très-détaillé est placé en regard de chacune des planches.

PAR LES MÊMES AUTEURS.

Synopsis analytique de la Flore des environs de Paris, ou Description abrégée des familles et des genres, accompagnée de tableaux dichotomiques destinés à faire parvenir aisément au nom des espèces, 1 vol. grand in-18 d'environ 300 pages, texte compacte. Paris. 3 fr. 50

Cet ouvrage, très-portatif, est spécialement destiné aux herborisations; il paraîtra en avril 1845.

PAR LES MÊMES AUTEURS.

Nouveau Vade-mecum du botaniste, ou Appendice à la Flore des environs de Paris, comprenant : *Dictionnaire des mots techniques* employés dans la Flore ; *Promenades botaniques aux environs de Paris,* ou Indication des espèces qui se rencontrent aux localités les plus intéressantes ; *Propriétés médicales et usage des plantes* qui croissent spontanément aux environs de Paris et de celles qui y sont généralement cultivées ; *Conseils sur la manière de recueillir, de préparer, de conserver et de classer les plantes ; Histoire de la botanique des environs de Paris; etc.* Sous presse.

COURS ÉLÉMENTAIRE
D'HISTOIRE NATURELLE

à l'usage des colléges et des maisons d'éducation,

RÉDIGÉ CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DE L'UNIVERSITÉ DU 14 SEPTEMBRE 1840,

Par MM. MILNE EDWARDS, A. DE JUSSIEU ET BEUDANT.

ZOOLOGIE,

PAR MILNE EDWARDS,

Membre de l'Institut, professeur à la faculté des sciences de Paris et au Muséum d'histoire naturelle.

1 vol. gr. in-18, avec 451 fig. intercalées dans le texte. Prix : 6 fr.

BOTANIQUE,

PAR A. DE JUSSIEU,

Membre de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle, agrégé de la faculté des sciences de Paris, etc.

1 vol. gr. in-18 avec 500 fig. dans le texte. Prix : 6 fr.

MINÉRALOGIE ET GÉOLOGIE,

PAR M. BEUDANT,

Membre de l'Institut, inspecteur général de l'Université.

1 vol. grand in-18 avec 500 figures dans le texte. Prix : 6 fr.

LE BARON GEORGES CUVIER.

Le Règne animal, distribué d'après son organisation, pour servir de base à l'histoire naturelle des animaux et d'introduction à l'anatomie comparée, NOUVELLE ÉDITION, ACCOMPAGNÉE DE PLANCHES GRAVÉES, représentant les types de tous les genres, les caractères distinctifs des divers groupes, et les modifications de structure, sur lesquels repose cette classification, publiée par une réunion d'élèves de G. CUVIER : MM. AUDOUIN, BLANCHARD, DESHAYES, D'ORBIGNY, DUVERNOY, DUGÈS, LAURILLARD, MILNE EDWARDS, ROULIN et VALENCIENNES.

Cette nouvelle édition se publie, depuis le 25 mai 1836, les 10 et 25 de chaque mois, par livraisons de 4 planches et d'une feuille de texte, ou de trois planches et cinq feuilles de texte in-8, sur grand jésus véli. L'ouvrage sera complet en 250 ou 255 livraisons, au plus.

On vend séparément les diverses parties dont l'ouvrage se compose, et même une seule livraison comme *specimen*.

Ce magnifique ouvrage est divisé ainsi qu'il suit :

	Planches.		Planches.
Mammifères et Races humaines (par MM. Laurillard, Milne Edwards et Roulin).	120	Insectes (par Audouin, Blanchard et Milne Edwards).	180
Oiseaux (par d'Orbigny).	100	Arachnides (par Dugès).	30
Reptiles (par Duvernoy).	46	Crustacés (par Milne Edwards).	86
Poissons (par Valenciennes).	122	Annélides (par le même).	30
Mollusques (par Deshayes).	154	Zoophytes (Idem).	100

Prix des livraisons : { Figures noires..... 2 fr. 25
Figures coloriées..... 5 fr.

PARTIES TERMINÉES :

LES REPTILES, avec un atlas, par Duvernoy, ont paru en 13 livraisons et forment un volume de texte et un atlas de 46 planches.
Fig. coloriées..... 65 fr.
Fig. noires..... 30 fr.
Le texte sans planches..... 6 fr.

LES POISSONS, avec un atlas, par Valenciennes, ont paru en 32 livraisons et forment un volume de texte et un atlas de 122 planches.
Fig. coloriées..... 160 fr.
Fig. noires..... 72 fr.
Le texte sans planches..... 12 fr.

LES OISEAUX, avec un atlas, par Al. d'Orbigny, ont paru en 27 livraisons et forment un volume de texte et un atlas de 100 planches.
Fig. coloriées..... 135 fr.
Fig. noires..... 60 fr.
Le texte sans planches..... 12 fr.

LES CRUSTACÉS, avec un atlas, par Milne Edwards, ont paru en 23 livraisons et forment un volume de texte et un atlas de 86 planches.
Fig. coloriées..... 115 fr.
Fig. noires..... 52 fr.
Le texte sans planches..... 12 fr.

LES MOLLUSQUES, avec un atlas, par M. Deshayes, ont paru en 39 livraisons et forment un volume de texte et un atlas de 153 planches dont 1 double.
Fig. coloriées..... 195 fr.
Fig. noires..... 88 fr.
Texte seul..... 12 fr.

Le même ouvrage, 2e édit. Paris, 1829-1830, 5 vol. in-8, fig. 36 fr.

PAR LE MÊME AUTEUR.

Leçons d'Anatomie comparée, deuxième édition, corrigée et augmentée, par MM. Georges et Frédéric Cuvier, Laurillard et Duvernoy. Paris, 1836 à 1845, 8 vol. in-8, le 4e en deux parties. 64 fr.

Histoire des Sciences naturelles depuis leur origine jusqu'à la fin du XVIIIe siècle, chez tous les peuples connus, professée au collége de France, par Georges Cuvier, rédigée et complétée par M. T. Magdeleine de Saint-Agy. Paris, 1841-1845, 5 vol. in-8. 28 fr.
Chaque volume séparément. 7 fr.

DE CANDOLLE.

Prodromus Systematis naturalis regni vegetabilis, *sive Enumeratio contracta ordinum, generum specierumque plantarum huc usque cognitarum,* editore et pro parte auctore Alphonse DE CANDOLLE.

SONT EN VENTE :

Tom. I. Sistens Thalamiflorarum Ordines LIV, 1824.
— II. Sistens Calyciflorarum Ordines X, 1825.
— III. Sistens Calyciflorarum Ordines XXVI, 1826.
— IV. Sistens Calyciflorarum Ordines X, 1830.
— V. Sistens Calicereas et Compositarum tribus priores, 1836.
— VI. Sistens Compositarum continuat., 1838.
— VII. *Sectio prior.* Sistens Compositarum tribus ultimas et ordinis Mantissam. *Sectio poster.* Sist. ultimos Calyciflorarum Ordines, 1839.
— VIII. Sistens Corolliflorarum Ordines XIII, 1844.
— IX. Sistens Corolliflorarum Ordines IX, 1845.

Prix des 9 volumes en vente. 110 fr.
Chacun des tomes I à VII se vend séparément. 13 fr.
Chaque partie du tome VII séparément. 8 fr.
Les tomes V, VI et VII, 1re *partie,* comprenant les COMPOSÉES, pris à la fois. 31 fr.
Chacun des volumes depuis le tome VIII se vend. 16 fr.

*** Le tome X est sous presse, et paraîtra en 1845.

LE Bon B. DELESSERT,

De l'Institut.

Recueil des Coquilles décrites par LAMARCK, dans son Histoire naturelle des animaux sans vertèbres, et non encore figurées, magnifique vol. grand in-folio jésus, avec 40 planches dessinées d'après nature, gravées en taille-douce, imprimées en couleur et retouchées au pinceau. Paris, 1842, broché. 180 fr.
Avec une demi-reliure, dos en toile. 190 fr.

DESHAYES.

Traité élémentaire de conchyliologie, avec l'application de cette science à la géognosie, 2 vol. et atlas grand in-8 de 130 planches environ, publiés en 16 livraisons. Chaque livraison, fig. noires. 5 fr.
Le même, fig. coloriées. 12 fr.
8 livraisons sont en vente.

*** Cette publication, retardée pendant deux années par le séjour de M. DESHAYES en Afrique, vient d'être reprise et sera continuée activement. La 9e livraison, comprenant le complément du texte du tome Ier, paraîtra en 1845.

C. D'ORBIGNY.

Dictionnaire universel d'histoire naturelle, résumant et complétant tous les faits présentés par les encyclopédies, les anciens dictionnaires scientifiques, les œuvres complètes de Buffon, de Lacépède, de Cuvier, et par les meilleurs traités spéciaux sur les diverses branches des sciences naturelles; donnant la description des êtres et des divers phénomènes de la nature ; l'étymologie et la définition des noms scientifiques ; les principales applications des corps organiques et inorganiques à l'agriculture, à la médecine, aux arts industriels, etc.

Le Dictionnaire universel d'histoire naturelle formera 8 gros tomes divisés chacun en deux volumes ou parties grand in-8, à double colonne.

De belles planches, gravées sur acier par les plus habiles artistes de Paris, représentant plus de 1,200 sujets, et destinées surtout à faciliter l'intelligence des articles généraux, accompagneront les volumes.

Prix du volume ou demi-tome :

Texte seul comprenant 24 feuilles.	6 fr.
— accompagné de 12 planches noires in-8.	9 fr.
— — de 12 planches coloriées in-8.	16 fr. 50

10 volumes sont en vente.

DUVAL-JOUVE.

Bélemnites des terrains crétacés inférieurs des environs de Castellane (Basses-Alpes), considérées géologiquement et zoologiquement, avec la description de ces terrains. Lu et présenté à l'Académie des sciences dans la séance du 30 août 1841. 1 beau volume in-4 cartonné, accompagné de 11 pl. lithographiées par E. Beau, et de 2 cartes coloriées. Paris, 1841. 17 fr.

MILNE EDWARDS,

Membre de l'Institut, professeur à l'Académie des sciences et au Muséum d'histoire naturelle, etc.

Éléments de zoologie, ou Leçons sur l'anatomie, la physiologie, la classification et les mœurs des animaux, 4 vol. in-8, avec plus de 600 figures intercalées dans le texte. 17 fr.

On peut avoir séparément :

Parties.

1re L'Anatomie et la Physiologie, 2e édition, 1840	4 fr.
2e Les Mammifères, 2e édition, 1841	4 fr.
3e Les Oiseaux, Reptiles et Poissons, 2e édition, 1842	4 fr. 50
4e Les Mollusques, les Articulés et les Zoophytes, 2e édition, 1843	4 fr. 50

MILNE EDWARDS ET ACHILLE COMTE.

Cahiers d'histoire naturelle, à l'usage des colléges et des écoles normales primaires ; ouvrage adopté par le conseil royal de l'instruction publique, pour servir à l'enseignement de l'histoire naturelle dans les établissements de l'Université ; nouvelle édition, refaite d'après le programme du 14 septembre 1840, et réduite en 3 forts cahiers in-12, avec planches gravées ; par M. Milne Edwards, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle, et M. Achille Comte, professeur d'histoire naturelle au collége Charlemagne. Les 3 cahiers, formant le cours entier d'histoire naturelle, se divisent ainsi :

1er, Zoologie. — 2e, Botanique. — 3e, Minéralogie et Géologie.

Chaque cahier se vend séparément. 1 fr. 50

CH. GAUDICHAUD,

Pharmacien-professeur de la marine royale, membre de l'Institut, etc.

Recherches générales sur l'organographie, la physiologie et l'organogénie des végétaux. Paris, 1841, 1 vol. grand in-4, papier vélin cartonné, avec 18 planches gravées et coloriées. 24 fr.
Le même, broché, avec figures noires. 12 fr.

EMM. LE MAOUT,

Docteur en médecine, ex-démonstrateur de botanique à la faculté de médecine de Paris.

Leçons élémentaires de botanique fondées sur l'analyse de 50 plantes vulgaires, et formant un traité complet d'organographie et de physiologie végétale. Paris, 1844. Un magnifique volume in-8, avec l'atlas des 50 plantes vulgaires et plus de 500 figures dessinées par J. Decaisne et gravées par les meilleurs artistes. Prix, avec l'atlas colorié. 25 fr.
— noir. 15 fr.

JOSEPH ROQUES.

Histoire des Champignons comestibles et vénéneux, où l'on expose leurs caractères distinctifs, leurs propriétés alimentaires et économiques, leurs effets nuisibles et les moyens de s'en garantir ou d'y remédier ; ouvrage utile aux amateurs de champignons, aux médecins, aux naturalistes, aux propriétaires ruraux, aux maires, aux curés des campagnes ; 2e édit. revue et considérablement augmentée. Paris, 1841, 1 vol. in-8, avec un atlas grand in-4 de 24 planches représentant dans leurs dimensions et leurs couleurs naturelles cent espèces ou variétés de champignons. 27 fr.

On vend séparément le volume de texte. 7 fr. 50

HISTOIRE NATURELLE. — PUBLICATIONS ANGLAISES.

J. D. HOOKER, M. D., R. N., F. L. S.,

Assistant surgeon of the, « Erebus », and botanist to the expedition.

The Botany of the Antarctic Voyage of H. M. Discovery ships *Erebus* and *Terror* in the years 1839-1843, under the command of captain sir James Clarck Ross.

La Botanique du Voyage Antarctique sera divisée en trois flores, savoir : *Flora Antarctica,* avec 160 planches; *Flora Novæ Zelandiæ,* avec 140 planches; et *Flora Tasmanica,* avec 200 planches

Le FLORA ANTARCTICA paraîtra en 20 livraisons mensuelles, format grand in-4 ; chaque livraison contiendra 16 pages de texte et 8 belles planches lithographiées représentant des espèces nouvelles ou imparfaitement connues.

Prix de chaque livraison, avec planches coloriées. 12 fr.
— — avec planches en noir. 6 fr. 75

W. S. HOOKER, K. H., LL. D., F. R. A. ET L. S.

Vice-president of the Linnean society of London, and director of the Royal botanic garden of Kew.

Species filicum, being descriptions of all known ferns, illustrated with plates.

On sale : Part I, in-8. P. 1 to 64, and pl. I to XX. Price. 15 fr.
Part II, in-8. P. 65 to 128, and pl. XXI to XL. Price. 12 fr. 50

LOVELL REEVE, A. L. S., F. Z. S.

Conchologia systematica, or complete System of conchology, in which the lepades and mollusca are described and classified according to their natural organisation and habits; illustrated with 310 highly finished copper plate-engravings, by Messrs. Sowerby; containing above 1,500 figures of shells, many of which are entirely new to science.

Deux volumes grand in-4, cartonnés en toile anglaise, contenant 310 planches.

Figures coloriées. 325 fr.
Figures noires. 190 fr.

BY THE SAME AUTHOR.

Conchologia Iconica, a complete Repertory of species, pictorial and descriptive.

Le CONCHOLOGIA ICONICA est publié par livraisons mensuelles. Chaque livraison se compose de huit planches in-4, dont chacune contient de huit à dix figures, et est accompagnée d'une feuille de texte descriptif. Chaque espèce est décrite en latin et en anglais.

Chaque livraison de huit planches coloriées se vend à Paris. 13 fr.

IV

OUVRAGES CLASSIQUES ET POUR LE BACCALAURÉAT.

DELAVIGNE,

Licencié ès lettres de l'Académie de Paris.

Manuel complet des aspirants au baccalauréat ès lettres, 8e édition, rédigée d'après le nouveau programme de 1840. 2 forts volumes in-12, avec figures intercalées dans le texte. Paris, 1842. 12 fr.

On vend séparément.

LA PHILOSOPHIE. 1 vol... 1 fr. 50
LA LITTÉRATURE. 1 vol... 1 fr. 50
L'HISTOIRE. 1 très-fort vol... 6 fr.
LA GÉOGRAPHIE. 1 vol.... 2 fr.
LES MATHÉMATIQUES, avec figures..... 1 fr. 50
LA PHYSIQUE et la **CHIMIE,** avec figures..... 2 fr.

CLASSIQUES FRANÇAIS.

Édition stéréotype de FIRMIN DIDOT frères, format in-18, chaque volume broché. 50 c.

Les principaux ouvrages qui composent cette collection de 186 volumes sont, savoir :

	Vol.
J. RACINE. Théâtre	4
L. RACINE. La Religion	1
BOILEAU	2
FÉNÉLON. Télémaque	2
P. et **TH. CORNEILLE.** Théâtre	5
CRÉBILLON. Id	3
MOLIÈRE. Id	8
RÉGNARD	7
LA FONTAINE. Fables	2
J. B. ROUSSEAU	2
BOSSUET. Oraisons funèbres	1
— Histoire universelle	2
MASSILLON. Petit Carême	1
FLÉCHIER. Oraisons funèbres, etc.	2
MONTESQUIEU. Esprit des lois	6
— Grandeur des Romains	1
— Lettres persanes	2
VOLTAIRE. Henriade	1
— Épitres	1
— Contes en vers	1
— Théâtre	12
— Siècle de Louis XIV et de Louis XV.	6
VOLTAIRE. Charles XII	1
— Histoire de Russie	2
— Romans	4
— Essai sur les mœurs	10
— Dictionnaire philosophique	14
ROUSSEAU. Nouvelle Héloïse	5
— Émile	4
— Les Confessions	4
LABRUYÈRE. Caractères	3
PASCAL. Les Provinciales	3
LA ROCHEFOUCAULT. Maximes	1
NICOLE. Pensées	1
LESAGE. Gil Blas	5
— Diable Boiteux	2
— Théâtre	1
FLORIAN. Gonzalve de Cordoue	2
VERTOT. Révolutions romaines	4
— Révolutions de Suède	2
— Révolutions du Portugal	1
SAINT-RÉAL. Conjuration contre Venise	1

Boileau. OEuvres poétiques choisies, 1 vol. Prix. 60 c.
Voltaire. Le Siècle de Louis XIV seul. 4 tomes en 1 fort v. Prix. 1 fr. 60 c.

V

JOURNAUX.

Annales de Chimie, ou Recueil de mémoires concernant la chimie et les arts qui en dépendent; par MM. Guyton de Morveau, Lavoisier, Monge, Berthollet, Fourcroy, etc. Paris, 1789 à 1815 inclusivement, et tables. 99 volumes in-8, figures. 375 fr.

⁂ Les collections complètes sont devenues très-rares, mais on peut se procurer la plupart des années séparément..... 20 fr.

Annales de Chimie et de Physique, 2e série; par MM. Gay-Lussac et Arago. Paris, 1816 à 1840 inclusivement, 25 années, formant avec les tables 78 vol. in-8, accompagnés d'un grand nombre de planches gravées. 320 fr.

⁂ La plupart des années de 1816 à 1840 peuvent se vendre séparément.... 12 fr.

Annales de Chimie et de Physique, 3e série commencée en 1841, rédigée par MM. Gay-Lussac, Arago, Chevreul, Dumas, Pelouze, Boussingault et Regnault. Il paraît chaque année 12 cahiers qui forment 3 volumes, et sont accompagnés de planches en taille-douce et de figures intercalées dans le texte.

Prix : Pour Paris..... 30 fr.
Pour les départements..... 34 fr.
Pour quelques pays de l'étranger..... 38 fr.

Annales des Sciences naturelles, 1re série, 1824 à 1833 inclusivement, publiées par MM. Audouin, Ad. Brongniart et Dumas. 30 vol. in-8 et un volume de tables, 600 planches environ, la plupart coloriées. 168 fr.

Annales des Sciences naturelles, *deuxième série,* comprenant la zoologie, la botanique, l'anatomie et la physiologie comparée des deux règnes, et l'histoire des corps organisés fossiles, rédigées, pour la zoologie, par MM. Audouin et Milne Edwards, et pour la botanique, par MM. Adolphe Brongniart, Guillemin et Decaisne.

Cette deuxième série, publiée de 1834 à 1843 inclusivement, forme deux parties avec une pagination distincte, et comprend, avec les tables générales des matières et celles des auteurs, 40 volumes, format grand in-8 sur raisin, accompagnés d'environ 700 planches gravées en taille-douce et souvent coloriées.

Prix des 40 volumes cartonnés. 380 fr.
Chaque partie se vend séparément. 250 fr.

Annales des Sciences naturelles, *troisième série*, commençant le 1er janvier 1844, comprenant la zoologie, la botanique, l'anatomie et la physiologie comparée des deux règnes, et l'histoire des corps organisés fossiles, rédigées, *pour la zoologie*, par M. Milne Edwards, *pour la botanique*, par MM. Brongniart (Ad.) et Decaisne.

Ces deux parties ont une pagination distincte et forment, chaque année, deux volumes de botanique et deux volumes de zoologie; elles sont accompagnées chacune de 35 planches gravées avec soin, et coloriées toutes les fois que le sujet l'exige.

		Pour Paris,	les départements,	l'étranger.
Prix :	Pour les deux parties réunies :	38 fr.	40 fr.	44 fr.
	Pour une partie séparément :	25	27	30

Annales Médico-Psychologiques, journal de l'Anatomie, de la Physiologie et de la Pathologie du système nerveux, destiné particulièrement à recueillir tous les documents relatifs à la science des rapports du physique et du moral, à l'aliénation mentale, et à la médecine légale des aliénés; publiées par MM. les docteurs Baillarger, médecin des aliénés à l'hospice de la Salpêtrière, Cerise et Longet. Les Annales médico-psychologiques paraissent tous les deux mois, à partir du 1er janvier 1843. Chaque livraison contient 10 feuilles d'impression (160 pages) de manière à former à la fin de chaque année deux beaux volumes in-8.

Des planches seront ajoutées lorsqu'elles seront nécessaires.

Prix de l'abonnement par année :	Pour Paris	20 fr.
	Pour les départements	23 fr.
	Pour l'étranger	26 fr.

Journal de Pharmacie et de Chimie, contenant une revue de tous les travaux publiés en France et à l'étranger sur les sciences physiques, naturelles, médicales et industrielles, ainsi que le Bulletin des travaux de la Société de Pharmacie de Paris, rédigé par MM. P. F. G. Boullay, J. P. Boudet, J. J. Virey, A. Bussy, E. Soubeiran, O. Henry, F. Boudet, P. A. Cap, A. F. Boutron-Charlard, E. Frémy; troisième série, ayant commencé en janvier 1842.

Le *Journal de Pharmacie et de Chimie* paraît tous les mois, par cahiers de 4 à 6 feuilles. Il forme chaque année deux volumes in-8; des planches sont jointes au texte toutes les fois qu'elles sont nécessaires.

Prix de l'abonnement :	Pour Paris et les départements	15 fr.
	Pour l'étranger	18 fr.

The London and Edinburgh Monthly Journal of medical science, *Journal mensuel des sciences médicales de Londres et d'Édimbourg*, rédigé par le docteur Cormack, d'Edimbourg. Prix des 12 cahiers, formant un volume compacte, accompagné de planches et tableaux statistiques. 22 fr.

Ce journal, le plus varié, le plus étendu et le moins coûteux de tous les recueils périodiques de médecine qui se publient dans la Grande-Bretagne, paraît à Londres et à Édimbourg, le premier de chaque mois, et se trouve le 15 à Paris.

VI

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES SUR L'ALGÉRIE.

EXPLORATION SCIENTIFIQUE DE L'ALGÉRIE,

Pendant les années 1840, 1841, 1842,

PUBLIÉE PAR ORDRE DU GOUVERNEMENT.

SCIENCES HISTORIQUES ET GÉOGRAPHIQUES.

Études des routes suivies par les Arabes dans la partie méridionale de l'Algérie et de la Régence de Tunis, pour servir à l'établissement du réseau géographique de ces contrées; par E. CARETTE, capitaine du génie, membre et secrétaire de la commission. 1 vol. grand in-8 format jésus, avec 1 carte. 12 fr.

Recherches sur la géographie et le commerce de l'Algérie méridionale; par M. E. CARETTE, accompagnées d'une Notice sur la géographie de l'Afrique septentrionale, et d'une carte, par M. RENOU, membre de la commission. 1 vol. in-8, avec 3 cartes. 12 fr.

Mémoires historiques et géographiques, par M. PELLISSIER, membre de la commission, consul de France à Souça. 1 vol. in-8, contenant:

Mémoires historiques sur les expéditions et les établissements des Européens en Barbarie.

Mémoire sur les mœurs et les institutions sociales des Arabes et des Kabiles du nord de l'Afrique.

Mémoire sur la géographie ancienne et sarrazine de l'Algérie.

Prix du volume. 12 fr.

Histoire de l'Afrique, par *Mohammed-El-Keiroâni;* traduite par MM. PELLISSIER et RÉMUSAT. 1 vol. grand in-8. 12 fr.

Voyages dans le sud de l'Algérie et des États barbaresques de l'Ouest et de l'Est, par *El-Aiâchi-Moula-Ahmed;* traduits par M. Adrien BERBRUGGER, membre de la commission, et accompagnés d'une Notice géographique et d'une carte du Maroc, par M. RENOU. 1 vol. in-8, avec 1 carte. 12 fr.

HISTOIRE NATURELLE.

Cette section sera publiée par livraisons de 4 feuilles de texte et de 6 planches, dans le format grand in-4 jésus.

LE SAHARA ALGÉRIEN.

Ouvrage publié par ordre du gouvernement. Paris, 1845, 1 beau volume grand in-8, accompagné d'une carte de l'Algérie en 2 feuilles, et d'une carte du Sahara. Le volume et les cartes se vendent réunis ou séparément.

Prix du volume. 7 fr. 50
Prix des cartes. 8 fr.

Les cartes se vendent aussi collées sur toile, montées sur rouleau ou pliées dans un étui.

VII

BIBLIOTHÈQUE DE PHILOSOPHIE MÉDICALE,

Format Charpentier.

BICHAT.

Recherches physiologiques sur la vie et sur la mort, nouvelle édition, ornée d'une vignette sur acier, précédée d'une Notice sur la vie et sur les travaux de Bichat, et suivie de notes, par M. le docteur Cerise. Paris, 1844, 1 vol. grand in-18. 3 fr. 50

CABANIS.

Rapports du physique et du moral de l'homme, nouvelle édition contenant : l'extrait raisonné de Destutt de Tracy, la table alphabétique et analytique de Sue, une notice biographique sur Cabanis, et un Essai sur les Principes et les Limites de la science des rapports du physique et du moral, par le docteur Cerise. 1 vol. 3 fr. 50

GALIEN.

Œuvres médico-philosophiques, traduites pour la première fois en français sur les textes grecs manuscrits et imprimés, avec des introductions et des notes, par le docteur Ch. V. Daremberg, bibliothécaire de l'Académie royale de médecine. 2 vol. in-18. (*Sous presse.*)

HIPPOCRATE.

Œuvres (*le Serment, la Loi, de l'Art, du Médecin, les Prorrhétiques, le Pronostic, des Eaux, des Airs et des lieux, Prénotions de Cos; Épidémies du Régime dans les Maladies aiguës, les Aphorismes,* etc.), traduites sur les anciens textes imprimés et manuscrits, par le docteur Ch. V. Daremberg, bibliothécaire de l'Académie de médecine de Paris. 1 vol. grand in-18. 4 fr.

ROUSSEL.

Système physique et moral de la femme, nouvelle édition, contenant une notice biographique sur Roussel et des notes, par le docteur Cerise. Paris, 1845, 1 vol. grand in-18. 3 fr. 50

ZIMMERMANN.

De la solitude, traduction nouvelle par M. X. Marmier. Paris, 1845, 1 vol. grand in-18. 3 fr. 50

P. J. BARTHEZ.

Nouveaux Éléments de la Science de l'homme. (*Sous presse.*)

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Dans le format Charpentier.

JUSTUS LIEBIG,

Professeur à l'université de Giessen.

Lettres sur la Chimie, et sur ses applications à l'industrie, à la physiologie et à l'agriculture, traduites par le docteur G. W. Bichon. 1 vol. grand in-18, avec un portrait de M. Liebig, dessiné d'après nature. 3 fr. 50

CH. MATTEUCCI,

Professeur de physique à l'université de Pise.

Leçons sur les phénomènes physiques et chimiques des corps vivants, professées à Pise, en 1844, par M. C. Matteucci. Edition française publiée sous les yeux de l'auteur, avec des additions considérables, par M. Leblanc. Paris, 1845, 1 vol. grand in-18. 3 fr. 50

COURS ÉLÉMENTAIRE

DE MINÉRALOGIE.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

§ 1^er^. **Corps vivants et corps bruts.** — On nomme *corps* tout ce qui a une existence matérielle, et qui peut en conséquence tomber sous les sens. On connaît des corps qui sont ou qui ont été doués de la vie, et d'autres qui n'en ont jamais joui. Les premiers sont nommés *corps vivants*, ou *corps organisés*, parce qu'ils se composent de divers appareils, ou organes, nécessaires à leur existence. Les seconds sont désignés sous le nom de *corps bruts*.

Les corps bruts sont de deux sortes : les uns sont *naturels*, c'est-à-dire qu'ils nous sont offerts immédiatement par la nature ; les autres sont *artificiels*, c'est-à-dire qu'ils résultent des actions mutuelles des divers éléments que nous mettons nous-mêmes en jeu pour satisfaire à nos besoins comme à notre curiosité.

§ 2. **Eléments.** — On nomme *éléments* les corps bruts naturels que nous ne pouvons parvenir à décomposer par les moyens que nous connaissons ; ils sont *pondérables* ou *impondérables*. Les premiers, outre trois métaux nouveaux signalés dans les minerais de cérium, sont au nombre de 55, savoir :

Corps gazeux.

1. Azote.
2. Chlore.
3. Fluor.
4. Hydrogène.
5. Oxygène.

Corps liquides.

6. Brome.
7. Mercure (éclat métallique).*

Corps solides non métalliques.

8. Bore.
9. Carbone.*
10. Iode.
11. Phosphore.
12. Sélénium.
13. Silicium.
14. Soufre.*

Corps solides métalliques.

15. Aluminium.
16. Antimoine.*
17. Argent.*
18. Arsenic.*
19. Baryum.
20. Bismuth.*
21. Cadmium.
22. Calcium.
23. Cérium.
24. Chrome.
25. Cobalt.
26. Cuivre.*
27. Étain.
28. Fer.*
29. Glucynium.
30. Iridium.
31. Lithium.
32. Lanthane.
33. Magnésium.
34. Manganèse.
35. M lybdène.
36. Nickel.
37 Or.*
38. Osmium.
39. Palladium.
40. Platine.
41. Plomb.
42. Potassium.
43. Rhodium.
44. Sodium.
45. Strontium.
46. Tantale.
47. Tellure.*
48. Thorinium.
49. Titane
50. Tungstène.
51. Uranium.
52. Vanadium.*
53. Yttrium.
54. Zinc.
55. Zirconium.

Plusieurs de ces corps se trouvent à l'état libre dans la nature (ceux qui sont marqués d'un astérisque); tous les autres sont le résultat des recherches qui ont été faites dans les laboratoires sur les composés qui résultent de leurs combinaisons.

Les éléments impondérables sont des fluides incoercibles, à l'hypothèse desquels on est forcément conduit par les phénomènes de la chaleur, de l'électricité et de la lumière, dont les mouvements exigent nécessairement la présence d'un corps, soit pour la production, soit pour la transmission.

§ 3. **Caractères des corps bruts. Origine.** — Les corps bruts se trouvent dans la nature, sans qu'on en connaisse l'origine; ou bien se forment immédiatement chaque fois que quelques particules élémentaires, se trouvant en présence, peuvent librement agir l'une sur l'autre et céder à leur affinité mutuelle. Il s'en fait tantôt une espèce, tantôt une autre, suivant les cas fortuits de rencontre de divers éléments, et même à notre volonté, puisque nous pouvons en composer beaucoup d'artificiels.

Forme non essentielle. — Une fois constitués, plusieurs de ces corps peuvent se trouver indifféremment à l'état solide, à l'état liquide, à l'état de fluide aériforme, suivant les circonstances dans lesquelles ils sont placés : c'est ainsi que l'eau, par exemple, est solide au-dessous de zéro, liquide au-dessus, et gazeuse à 100 degrés; c'est ainsi que le sucre, le sel commun, naturellement solides, peuvent être tenus à l'état liquide par la présence de l'eau, les résines par l'alcool, etc. De là il résulte que la forme n'est pas

DSI

toujours essentielle dans le corps brut, et que c'est par une nouvelle opération, indépendante à la fois de la formation et de l'existence, qu'elle vient à se manifester.

Accroissement indéfini et extérieur. — Le corps brut solide peut conserver le volume et la forme sous lesquels il s'est manifesté lors de sa formation ou de sa consolidation ; mais il peut aussi s'accroître, et cela se fait toujours à l'extérieur, par une nouvelle agrégation de particules qui se groupent autour des premières et peuvent ainsi en augmenter indéfiniment la masse. Cet accroissement peut se faire d'une manière continue; mais il peut aussi être interrompu et repris successivement à des époques indéfinies, qui dépendent uniquement des circonstances extérieures.

Variation de formes. — Dans ces changements accidentels de volume, la forme du corps solide peut se conserver constamment la même, ou bien varier de toutes les manières, sans ordre comme sans époque déterminée. Elle peut être purement accidentelle, comme elle peut tenir à une certaine propriété que possèdent les matières brutes de s'agréger sous des formes géométriques, qui elles-mêmes peuvent varier à l'infini dans la même substance. Le même corps peut avoir d'abord une forme, puis en prendre successivement plusieurs autres, suivant les circonstances.

Pour s'en convaincre, qu'on place, par exemple, un fragment irrégulier d'alun, suspendu par un fil, dans une solution convenablement concentrée du même sel, on le verra s'accroître et prendre une forme régulière qui est généralement octaèdre. Qu'on le suspende alors dans une autre solution du même sel, dans laquelle on aura préalablement délayé de la craie, jusqu'à ce que l'effervescence ait très sensiblement diminué, on le verra s'accroître encore et passer à la forme cubique. Si on le remet dans la première, il repassera à l'octaèdre en s'accroissant encore, etc. Enfin, qu'on le suspende au-dessous du vase, au bord d'une ouverture presque capillaire, par laquelle le liquide puisse suinter lentement, il s'accroîtra encore par de nouvelles couches ; mais alors il s'arrondira, s'allongera, et finira par prendre une forme conique irrégulière, par offrir ce qu'on nomme une *stalactite*.

Si on couvre le corps d'une légère couche de carmin avant chaque immersion, on distinguera facilement ensuite dans la masse les formes diverses qui ont eu lieu, et les accroissements successifs. Or, il se présente des circonstances à peu près semblables dans les corps naturels, et par là on reconnaît qu'ils ont éprouvé de même divers changements successifs.

Existence indéfinie. Destruction. — Les corps bruts une fois

constitués peuvent exister indéfiniment : on connaît, en effet, dans les monuments, des matières qui ont plusieurs milliers d'années, et dont rien n'annonce la destruction prochaine. Ce n'est jamais que par l'action d'une cause extérieure que ces corps peuvent cesser d'exister; mais il faut distinguer une destruction apparente d'une destruction réelle. La *destruction apparente* est souvent une désagrégation, pure et simple, des particules qui avaient été réunies sous une forme ou sous une autre; la manière d'être est alors changée, le corps est devenu pulvérulent, il a été dissous, il a été mis en fusion, mais il n'a pas cessé d'exister (1). La *destruction réelle* est le résultat d'une séparation, totale ou partielle, des éléments dont le corps est formé : c'est ce qui arrive, par exemple, dans la calcination de la pierre à chaux, qui perd alors l'acide carbonique; dans l'efflorescence d'une multitude de sels, qui perdent tout ou partie de leur eau de composition; dans l'azotate d'ammoniaque, matière solide qui se convertit en eau et en protoxyde d'azote par la chaleur. Les corps naturels nous offrent une multitude de destructions de ces diverses sortes.

§ 4. **Caractères des corps vivants. Naissance.** — Ces caractères des corps bruts sont tous fort différents de ceux qu'on observe dans les corps vivants. Ceux-ci naissent toujours d'individus déjà existants et semblables à eux, et les espèces se perpétuent ainsi par génération, sans subir de modifications essentielles; aucune circonstance ne donne lieu à ce qu'il s'en forme de nouvelles, et nous ne sommes nullement maîtres d'en faire d'artificielles.

Forme essentielle et définie. — Dès que le corps vivant existe, il a nécessairement une forme propre et déterminée, parce que la vie exige les fonctions et les actions mutuelles de diverses parties qui ont des formes arrêtées, et dont les positions relatives sont rigoureusement ordonnées.

Accroissement limité, et intérieur. — Les corps vivants s'accroissent toujours après leur naissance et toujours de la même manière, le plus souvent jusqu'à un certain terme, qui n'est jamais dépassé. Cet accroissement se fait intérieurement, par suite de la nutrition, ou faculté que possède le corps vivant d'attirer dans sa composition et de s'approprier, par diverses modifications, une partie des substances environnantes, en même temps qu'il expulse une portion de celles dont il est déjà en possession.

Constance de la forme. — La forme se conserve alors constam-

(1) Il y a aussi une destruction apparente qui résulte de ce que le corps entre comme partie constituante dans une combinaison nouvelle; c'est ainsi que le fer se convertit en rouille en se combinant avec l'oxygène et l'eau de l'atmosphère.

ment; ou bien, si elle subit quelquefois certains changements, c'est toujours dans un ordre rigoureusement déterminé, et à des époques fixes, qui ne sont sujettes à aucune variation.

Existence limitée. Mort. — Ce mouvement de composition et de décomposition qui constitue la vie n'a jamais lieu que pendant un temps limité; il s'arrête sans retour en un certain moment, et le corps vivant n'est plus. La mort est la suite inévitable de la vie, et il ne reste alors qu'un amas de particules qui, à l'instant même, commencent à agir tout autrement les unes sur les autres et sur les corps environnants : de là résulte une destruction plus ou moins complète de ce qui existait, et la production de quelques matières nouvelles de la classe des corps bruts.

§ 5. **Corps bruts d'origine organique, et minéraux.** — Les corps bruts composés sont de diverses sortes ; il en est qui paraissent ne pouvoir se former que quand l'affinité des principes élémentaires est mise en jeu sous l'action lente et prolongée des fonctions vitales, au moyen desquelles un petit nombre d'éléments peuvent se combiner en des proportions très variées, pour former une multitude de corps. Tels sont les sucres, les gommes, les résines, certains acides, etc., en un mot, toutes les matières inertes formées dans les corps vivants, et qu'on peut en retirer de diverses manières. D'autres corps, au contraire, se forment constamment, ou se sont formés, sans aucune participation des forces vitales : telles sont les combinaisons salines, pierreuses, métalliques, etc., que nous trouvons dans le sein de la terre, ou dont nous pouvons produire un grand nombre à volonté.

Ce sont ces dernières matières qu'on a plus particulièrement nommées *minéraux*, et ce sont elles qui sont l'objet de la *minéralogie*. Toutefois on a pris l'habitude d'y joindre l'étude de diverses substances, d'origine organique, enfouies jadis dans le sein de la terre, où elles ont pu subir diverses modifications. On y ajoute même les corps liquides et gazeux qui se trouvent à la surface du globe ; car si le nom de minéraux paraît peu leur convenir, ce ne sont pas moins des corps bruts qu'on ne peut pas toujours ranger parmi ceux qui se forment à l'aide des fonctions vitales.

Quant aux matières inertes que produisent les corps organisés, leur étude comme corps naturels appartient à la physiologie, qui s'occupe des phénomènes que la vie détermine dans les êtres qui en sont doués. D'ailleurs ces sortes de corps bruts, aussi bien que les corps artificiels, que nous laissons à la technologie, présentent les mêmes propriétés générales que tous les autres, et nous n'avons nullement besoin de les étudier d'une manière spéciale

pour apprendre à connaître ce qu'ils offrent d'important sous le rapport que nous avons en vue.

§ 6. **Manière d'étudier.** — Il n'y a qu'une seule manière d'étudier les corps : c'est de les examiner individuellement, et de tenir note de toutes les propriétés qu'ils peuvent présenter. C'est la méthode analytique, la seule que le naturaliste puisse employer pour arriver aux connaissances qu'il doit posséder. Mais, lorsque les recherches spéciales se sont suffisamment étendues, il en résulte un ensemble de faits généraux que l'on peut présenter synthétiquement, et qui deviennent l'expression de ce qu'il y a de plus important à connaître. C'est alors qu'on peut comparer rigoureusement tous les corps, établir leurs analogies ou leurs différences, et parvenir à les classer de manière qu'un petit nombre d'entre eux puissent donner une idée suffisante de tous les autres. Nous sommes arrivés à ce point pour les corps bruts, aussi bien que pour les corps vivants, et nous pouvons en traiter d'une manière générale, qui devient indispensable à toute bonne éducation.

Les faits d'organisation et les fonctions de chaque organe, comparés dans tous les êtres, constituent ce qu'il y a de plus général et de plus important dans l'étude des corps vivants, et les propriétés physiques et chimiques offrent alors peu de valeur. C'est le contraire pour les corps bruts : il n'y a ni organisation ni fonctions, mais les caractères physiques ou chimiques prennent alors une grande importance, par l'étonnante variété de faits qu'ils présentent. D'un côté, les formes, les structures, l'élasticité, les propriétés optiques, la composition, nous offrent une multitude de faits à recueillir ; de l'autre, les relations de ces diverses propriétés, et des circonsances qui les font naître ou les modifient, n'ont pas moins d'importance que les phénomènes physiologiques des corps vivants : ce sont là autant d'objets à traiter dans la minéralogie proprement dite.

Mais si, dans l'étude des corps vivants, les habitudes, les relations avec le sol, la distribution géographique, sont autant de connaissances du plus haut intérêt ; de même, les associations naturelles des minéraux, leur manière d'être dans le sein de la terre, l'étendue et les limites des dépôts qu'ils peuvent former, les relations de ces dépôts entre eux, les phénomènes dont ils sont ou ont été le théâtre, etc., sont autant d'objets dignes de notre attention, et souvent d'une haute utilité dans nos usages. Les faits qu'on connaît sous ces différents rapports constituent une branche de science particulière, qu'on désigne sous le nom de *géologie*, et dont nous ferons ici un livre à part.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES MINÉRAUX.

§ 7. Les propriétés physiques des minéraux comprennent les formes et les structures, l'état élastique, l'action sur la lumière, le poids spécifique, les propriétés électriques et magnétiques, la dureté, la ténacité, la flexibilité, la ductilité, l'action sur le toucher, la faculté conductrice de la chaleur, l'odeur, la saveur, la faculté d'absorber ou d'émettre l'humidité, qui offre le happement à la langue, la déliquescence et l'efflorescence.

FORMES DES MINÉRAUX.

§ 8. Les formes sous lesquelles les corps bruts se présentent à nous sont de deux sortes : les unes nous offrent des polyèdres terminés régulièrement par des facettes planes, unies, quelquefois aussi brillantes que si on les eût fait tailler par un lapidaire; les autres nous offrent des configurations de toute espèce, fréquemment arrondies, quelquefois irrégulièrement angulaires, ou se rapportant à des formes organiques, etc.

Les formes polyédriques, qu'on nomme *cristaux*, paraissent tenir à certaines propriétés inhérentes à la plupart des corps bruts, et en vertu desquelles leurs molécules tendent à se réunir sous formes géométriques, lorsqu'elles peuvent céder librement à l'attraction de cohésion, au moment où elles s'agglomèrent en masses solides. Ces formes se produisent sous nos yeux dans beaucoup de circonstances et de diverses manières : par solution, par fusion, par sublimation, ce qui paraît avoir également lieu dans la nature.

Dans nos ateliers, on se procure un grand nombre de sels en cristaux, en faisant dissoudre le corps dans l'eau, concentrant convenablement la solution, et l'abandonnant à elle-même : c'est ce qu'on peut éprouver, par exemple, en faisant dissoudre dans l'eau bouillante autant d'alun que le liquide en peut prendre, et tirant la solution à clair dans un vase où l'on a suspendu quelques fils : il ne tarde pas à se précipiter des cristaux, d'autant plus gros que la masse liquide est plus volumineuse.

Les matières fondues qu'on laisse refroidir lentement se cristallisent aussi dans l'intérieur de la masse; ce qu'on distingue sur-

tout en brisant la croûte consolidée à la surface, et renversant ce qui reste encore de matière liquide. On peut en faire l'expérience avec le bismuth, l'antimoine, le soufre, etc., qui sont de facile fusion; les cristaux qu'on obtient sont d'autant plus nets que le volume de la masse fondue est plus considérable.

Plusieurs matières volatiles, comme l'arsenic, l'acide arsénieux, etc., chauffées en vase clos, se volatilisent et se déposent en cristaux à la partie supérieure de l'appareil.

Les configurations irrégulières se manifestent dans une multitude de circonstances où le jeu des attractions naturelles se trouve plus ou moins dérangé, et même entièrement interrompu, par des causes extérieures; les formes qui se produisent alors sont purement accidentelles, et par suite beaucoup moins importantes à considérer que les précédentes : nous leur consacrerons cependant aussi quelques détails.

ÉTUDE DES CRISTAUX.

§ 9. **Comment il faut étudier.** — Il ne suffit pas de savoir en général que les corps bruts peuvent cristalliser; il faut encore connaître la nature des polyèdres qu'ils présentent, établir les relations qui peuvent exister entre les uns et les oppositions que peuvent offrir les autres.

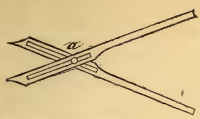
La première chose à faire est de s'assurer que ces polyèdres ont des caractères géométriques, c'est-à-dire que leurs plans ne sont pas disposés au hasard comme ceux que pourraient produire des fractures en différents sens, le retrait des matières qui se dessèchent, etc.; il faut chercher ensuite, par une étude suffisante des détails, à établir ces caractères avec assez de précision pour qu'ils puissent servir à distinguer nettement les diverses sortes de cristaux, et à découvrir des analogies ou des différences là où l'œil abandonné à lui-même pourrait fréquemment se tromper.

§ 10. **Mesure des angles.** — Pour reconnaître la nature géométrique des cristaux, il suffit de les soumettre à des mesures rigoureuses, en se procurant des instruments convenables, qu'on nomme *goniomètres*.

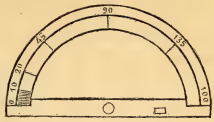
Le plus simple de ces instruments consiste en deux lames, fig. 1, réunies et mobiles en *a*, qui peuvent s'ouvrir plus ou moins, et s'allonger ou se raccourcir en glissant dans des rainures. On applique ces lames le mieux possible sur les deux faces dont on veut mesurer l'angle dièdre; puis on les place sur un rapporteur, fig. 2,

dans des points de repère qui y sont marqués, pour en lire la valeur sur le limbe.

1.



2.

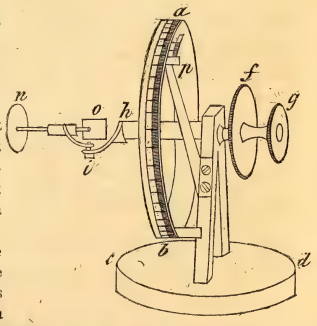


Cette manière de mesurer les angles est très défectueuse, et ne peut servir que pour les à-peu-près, dont on peut dans certains cas se contenter. Pour avoir plus d'exactitude, on a imaginé de choisir les cristaux dont les faces sont brillantes, et de s'en servir pour faire réfléchir les images de certaines lignes de mire placées à distance; on peut alors amener ces images à coïncider avec des lignes fixes, et cela permet d'établir nettement des points de départ sur une face, des points d'arrivée sur une autre, en faisant tourner le cristal. L'appareil étant disposé sur un cercle, on obtient l'angle décrit par le mouvement du cristal, et conséquemment l'inclinaison de ses faces.

Il y a pour ces mesures deux instruments principaux, le goniomètre de Wollaston, et celui de M. Babinet, qui peut servir en outre à plusieurs observations importantes en minéralogie.

Goniomètre de Wollaston. — Cet instrument, fig. 3, se compose d'un cercle vertical gradué, *ab*, placé sur un support *cd*, et pouvant tourner autour d'un axe horizontal au moyen du bouton *f*. Cet axe est traversé intérieurement par un autre qu'on peut faire mouvoir seul par le bouton *g*, et qui porte à son extrémité diverses pièces mobiles. Celles-ci se composent d'une lame courbe qui se meut de haut en bas en *h*, et dont la partie antérieure, mobile en *i*, peut aller et venir de droite à gauche. Une petite plaque *o*, dans l'axe de l'appareil, sert à placer le cristal, et peut être mise en mouvement au moyen du bouton *n*.

3



Pour se servir de cet instrument, on fixe d'abord le cristal sur le support *o* avec de la cire molle, de manière que l'arête des deux faces qu'on veut mesurer soit à peu près perpendiculaire au plan du cercle et dans l'axe de rotation; on place alors l'instrument sur une table, devant le jour, pour procéder à l'opération.

Placer l'arête du cristal horizontalement. — L'arête du cristal doit être ici rigoureusement horizontale. Pour la placer ainsi, on part de ce principe, qu'un miroir horizontal réfléchit horizontalement l'image des objets horizontaux. On cherche donc au loin deux lignes horizontales, comme une ligne de toit, une ligne de balcon,

et l'on dispose le plan du cercle à peu près perpendiculaire au plan du bâtiment qui les présente. On approche alors l'œil très près du cristal, et, en faisant tourner l'axe intérieur au moyen de la virole *g*, on amène une des faces dans une position telle qu'elle puisse réfléchir, par exemple, la plus haute des lignes de mire qu'on a choisies; puis on continue à tourner lentement jusqu'à ce que l'image qu'on aperçoit se rapproche de la ligne de mire la plus basse, vue directement, et l'on examine alors ce qui se passe. Si les deux lignes coïncident dans toute l'étendue qu'on aperçoit, la face du cristal est horizontale; si elles ne coïncident pas, on fait varier doucement, soit la position du cercle, soit celle du cristal, au moyen des pièces mobiles en *h* et en *i*, jusqu'à ce qu'on parvienne à produire la coïncidence.

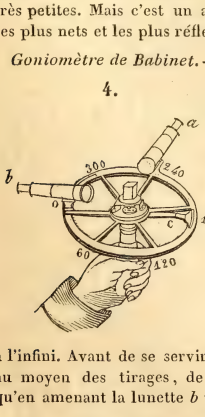
On fait alors la même opération sur la seconde face, qu'on amène en position en la faisant tourner par la virole *n*. Lorsqu'on est parvenu à placer celle-ci de manière à faire coïncider l'image réfléchie avec l'image directe, on revient à la première, pour voir s'il n'y a pas eu de dérangement. Après divers tâtonnements, on parvient à avoir coïncidence des lignes de mire sur l'une et sur l'autre face, qui sont dès lors toutes deux horizontales, et dont l'intersection est par conséquent elle-même horizontale.

Mesure de l'angle. — Cela fait, on met le cercle gradué à 0° ou 180°, car il est divisé en deux parties; ce qui se fait en tournant la virole *f*: un point d'arrêt indique naturellement quand on y est parvenu. On commence alors par tourner le cristal au moyen de la virole *g*, pour amener une face à réfléchir la ligne de mire supérieure, et la faire coïncider exactement avec la ligne inférieure. Cela fait, au moyen de la virole *f*, on tourne le cercle lui-même, qui entraîne alors le cristal dans sa rotation, jusqu'à ce que la réflexion et la coïncidence des lignes de mire aient aussi lieu exactement sur la seconde face. Il ne s'agit plus alors que de lire les degrés sur le limbe, et les fractions de degrés sur le vernier *p*.

Cet instrument n'est destiné qu'à mesurer de très petits cristaux, parce que l'œil n'étant pas fixe, et la distance des objets de mire n'étant jamais très grande, il faut que la dimension du cristal et sa distance à l'œil puissent être considérées comme très petites. Mais c'est un avantage réel, parce que les petits cristaux sont toujours les plus nets et les plus réfléchissants.

Goniomètre de Babinet. — Cet instrument, fig. 4, qu'on peut tenir à la main ou fixer sur un pied, consiste en un cercle garni de deux lunettes, *a* et *b*, et une alidade *c* qui tourne au centre; la lunette *a* est fixe, et la lunette *b* est mobile et garnie d'un vernier. Au centre se trouve un petit support susceptible de tourner sur lui-même, et sur lequel on fixe, avec de la cire molle, le cristal qu'on veut mesurer.

4.



Les lunettes renferment chacune intérieurement deux fils croisés rectangulaires, qui sont placés au foyer de l'oculaire et qui, la lunette étant tournée vers le jour, se trouvent ainsi éclairés par un faisceau de rayons parallèles. Ces fils remplacent dès lors, dans la lunette fixe, des points de mire placés à l'infini. Avant de se servir de l'instrument, il faut arranger chacune des lunettes, au moyen des tirages, de manière à voir distinctement les objets éloignés, afin qu'en amenant la lunette *b* vis-à-vis la lunette fixe *a*, on aperçoive les quatre fils.

Placer une des mires parallèlement au cercle. — Maintenant il convient de placer un des fils de la lunette fixe parallèlement au plan du cercle; l'autre sera

alors perpendiculaire. Pour cela, on tourne d'abord l'oculaire de la lunette *b* de manière que ses fils soient parallèles à ceux de la lunette *a;* puis on déplace la lunette mobile de droite à gauche, et de gauche à droite alternativement, pour voir ce qui arrive dans ces mouvements. Si les fils parallèles se rapprochent ou s'écartent l'un de l'autre, le parallélisme au plan du cercle n'a pas lieu, et il faut tourner un peu les oculaires, puis recommencer le mouvement de droite à gauche et de gauche à droite : on arrive bientôt par ce tâtonnement à une position telle que les fils ne changent pas de distance pendant le mouvement, et il est alors certain qu'ils sont parallèles au limbe. On place alors le cristal sur le support au moyen de cire molle.

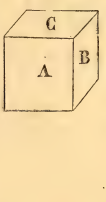
Placer le cristal verticalement. — L'arête du cristal doit être perpendiculaire au plan du cercle; et pour la placer ainsi, après avoir porté la lunette *b* à droite, par exemple, on tourne le support jusqu'à ce que l'une des faces du cristal réfléchisse les points de mire fournis par la lunette fixe, et en amène l'image dans la lunette mobile. Si, en faisant aller et venir cette lunette, on n'aperçoit aucun dérangement au parallélisme que nous avons précédemment établi, la face est verticale; si le parallélisme est dérangé, on fait mouvoir le cristal sur la cire de manière à le rétablir. Après avoir opéré sur une face, on tourne le support pour opérer sur l'autre. Si celle-ci ne dérange pas le parallélisme, elle est aussi verticale, et l'arête de jonction l'est également. Si le parallélisme est dérangé, on fait mouvoir le cristal sur la cire, jusqu'à ce qu'il soit rétabli, puis on vérifie la première face.

Mesurer l'angle. — On tourne d'abord un peu l'oculaire de la lunette mobile pour que ses fils deviennent obliques sur ceux de la lunette fixe, et par exemple à 45°, ce qui donne plus de facilité pour observer les coïncidences dont on va avoir besoin. On met l'alidade sur 180° et la lunette mobile sur la partie opposée du cercle; on fait alors mouvoir le support du cristal pour placer ce dernier de manière à réfléchir les fils de mire dans la lunette mobile, et amener le point de croisement des fils de cette dernière sur le fil vertical de la lunette fixe. Cela fait, on fait mouvoir l'alidade *c*, jusqu'à ce qu'on amène l'autre face du cristal à diriger de même les lignes de mire, et à effectuer la même coïncidence du point de croisement avec le fil vertical de *a*. Il n'y a plus alors qu'à lire l'angle cherché sur le limbe.

Observation. — La lumière extérieure qui tombe sur le cristal est souvent plus forte que celle qui arrive par la lunette fixe, et il devient impossible d'apercevoir l'image des fils de mire perdue dans cette lumière. Pour remédier à cet inconvénient, il faut placer des écrans noirs autour du cristal, afin de le priver de toute lumière qui ne sort pas de la lunette fixe.

§ 11. **Les cristaux sont des polyèdres géométriques.** — Sachant mesurer les angles dièdres des cristaux, on peut se convaincre que ces corps sont réellement des polyèdres géométriques. Si l'on examine, par exemple, les polyèdres à six faces, fig. 5, qu'on trouve très fréquemment, on observe qu'une face latérale A, formant avec B un certain angle, fait toujours avec la face de retour, à gauche, un angle complémentaire. De même la face supérieure C, faisant un certain angle avec A, fait l'angle complémentaire avec la face postérieure. De là il résulte que les cristaux de cette espèce ont leurs faces parallèles deux à deux, et, par conséquent,

5.



sont de véritables parallélipipèdes, suivant la définition géométrique de ce genre de solides.

En mesurant les inclinaisons des faces dans d'autres polyèdres, on trouve aussi entre les angles des rapports intimes, qui montrent encore que ces faces sont toujours coordonnées d'une manière toute géométrique.

§ 12. **Faits fondamentaux de cristallographie.** — Les formes polyédriques des corps bruts sont extrêmement nombreuses, non seulement parce que chaque corps peut en offrir de particulières, mais encore parce que, dans la même matière, il peut s'en trouver de très variées. Ces formes se comptent aujourd'hui par milliers, ce qui peut faire d'abord considérer leur étude comme devant être aussi longue que difficile; mais il existe des faits généraux qui la ramènent à une grande simplicité. Ces faits établissent :

1° Qu'un grand nombre de formes, en apparence très différentes, se lient entre elles de la manière la plus naturelle, et ne sont que des modifications plus ou moins profondes les unes des autres;

2° Que toutes les formes connues constituent six groupes distincts, dont les caractères sont nettement tranchés;

3° Que dans chacun de ces six groupes tous les polyèdres peuvent se déduire rigoureusement d'une forme unique, prise à volonté parmi celles qui s'y trouvent; d'où il résulte que toutes les études cristallographiques se réduisent à bien connaître les propriétés physiques et géométriques d'un très petit nombre de formes qu'on peut prendre pour types de toutes les autres. Étudions ces grands principes de la science.

MODIFICATIONS DES CRISTAUX.

§ 13. **Comment se font ces modifications.** — Les cristaux, quels qu'ils soient, se modifient fréquemment par de nouveaux plans sur leurs arêtes ou sur leurs angles solides. Les faces ainsi produites sont quelquefois extrêmement petites, mais souvent aussi elles s'élargissent aux dépens des faces primordiales, qu'elles finissent par faire disparaître entièrement, en donnant naissance à de nouveaux solides. C'est par ce moyen que les formes en apparence les plus éloignées les unes des autres se lient entre elles de la manière la plus intime, comme le montre immédiatement à l'œil la série des figures que nous rassemblons ici, et pour chacune desquelles il suffira de quelques mots. Tantôt les modifications se font à la fois sur toutes les arêtes ou sur tous les angles solides, en un mot sur toutes les parties de même dénomination; tantôt elles ne se font

que sur quelques unes d'entre elles, et se diversifient ou se mé-angent de différentes manières.

1° *Modifications sur toutes les parties de même nom*

§ 14. **Transformation du tétraèdre.** — Un *tétraèdre*, régulier ou irrégulier, fig. 6, se trouve naturellement modifié sur les quatre angles solides, fig. 7; mais dans divers échantillons on voit les faces nouvelles s'agrandir aux dépens des autres, et finir par réduire celles-ci à des triangles, fig. 8, ce qui produit un *octaèdre*.

6. 7. 8.

Le même solide se modifie sur les six arêtes, fig. 9; les faces nouvelles s'agrandissent, fig. 10, et, quand elles font disparaître les premières, on arrive à un *parallélipipède*, fig. 11.

9. 10. 11.

§ 15. **Transformation de l'octaèdre et du parallélipipède.** — L'octaèdre, fig. 8, se trouve souvent lui-même modifié de différentes manières : lorsqu'il se présente une face à chacun des six angles, fig. 12, il arrive que, sur divers échantillons, ces faces s'étendent successivement, fig. 13, 14, et que bientôt le parallélipipède fig. 11, est encore reproduit, ce qui montre en même temps comment il donne lui-même l'octaèdre.

12. 13. 14.

Quelquefois il y a quatre faces à chaque angle, fig. 15, qui, en s'étendant, fig. 16, conduisent enfin à un solide à 24 faces, fig. 17, qu'on nomme *trapézoèdre*.

On voit, fig. 18 et 19, comment ce nouveau solide se rattache au parallélipipède fig. 11.

15. 16. 17. 18. 19.

Quand les quatre faces nouvelles sont tournees vers les arêtes

de l'octaèdre fig. 20, et s'étendent successivement, comme fig. 21, on parvient au solide, fig. 22. Les fig. 24 et 23 montrent le passage du parallélipipède à ce solide.

20. 21. 22. 23. 24.

Il se fait aussi des modifications sur les douze arêtes de l'octaèdre, fig. 25, qui en s'étendant, fig. 26, conduisent au *dodécaèdre*, fig. 27. On voit, fig. 29 et 28, comment le parallélipipède produit le même solide.

25. 26. 27. 28. 29.

Quand les arêtes sont modifiées par deux faces, fig. 30, il se produit un autre solide à 24 faces, fig. 31. Si la modification se fait par 8 faces sur les angles, fig. 32, on obtient un polyèdre à 48 faces, fig. 33.

30. 31. 32. 33.

Ces premiers détails suffisent pour montrer que des solides très différents, *tétraèdre*, *octaèdre*, *parallélipipède*, etc., peuvent avoir entre eux les plus grands rapports, et par conséquent se trouver dans la même substance. Nous allons en voir d'autres quand les modifications ne sont pas aussi complètes.

2° *Modifications sur quelques unes des parties de même nom, et mélange de modifications.*

§ 16. **Passage de l'octaèdre au prisme.** — Dans certaines espèces d'octaèdres il n'y a souvent de modifié que les quatre angles latéraux, fig. 34; ce qui donne lieu, quand les faces s'étendent suffisamment, à un prisme à quatre faces pyramidé, fig. 35, qui peut être plus ou moins allongé.

34. 35.

Ailleurs les quatre arêtes latérales se trouvent remplacées, fig. 36, et conduisent à un autre prisme pyramidé, fig. 37, inverse du premier. Les deux modifications réunies donnent un prisme octogone.

36.

37.

Nouveau parallélipipède. — Si la modification du sommet se joint à celle des arêtes latérales, fig. 38, et 39 par extension, il en résulte un parallélipipède, fig. 40, dont les faces correspondent aux arêtes du premier. Ces parallélipipèdes passent l'un à l'autre par la modification des arêtes latérales, fig. 41, où leur réunion produit un prisme octogone.

38.

39.

40.

41.

§ 17. **Passage à divers octaèdres.** — Un octaèdre donné peut souvent en produire un grand nombre d'autres, les uns plus aigus, les autres plus obtus, et qui sont tantôt directs, tantôt inverses.

1° *Octaèdres directs.* Un octaèdre modifié par deux faces sur les arêtes latérales, fig. 42, en donne un autre plus aigu, fig. 43, lorsque les nouvelles faces s'étendent suffisamment. Si au contraire il se fait une modification au sommet, fig. 44, il en résulte un octaèdre plus obtus, fig. 45, et dont le degré de surbaissement dépend de l'inclinaison des nouvelles faces.

42.

43.

44.

45.

2° *Octaèdres inverses.* La modification des arêtes culminantes, fig. 46, conduit à un nouvel octaèdre plus obtus, fig. 47, inverse du premier : c'est ce que produit encore la modification du sommet par quatre faces tournées vers les arêtes, fig. 48; le nouveau solide est alors plus ou moins surbaissé, suivant que les faces modifiantes sont plus ou moins inclinées à l'axe de l'ancien.

46.

47.

48.

La modification des angles latéraux, chacun par deux faces, fig. 49, conduit à des octaèdres inverses plus aigus, fig. 50.

49.

50.

Ces formes, directes et inverses, se produisent sur un parallélipipède déterminé, les unes par la modification des angles,

51.

fig. 51, les autres par celles des arêtes, fig. 39. Les divers degrés d'acuité dépendent du plus ou moins d'inclinaison des nouvelles faces.

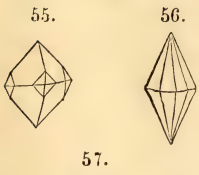
§ 18. **Passage à la double pyramide octogone.** — La modification des angles latéraux de l'octaèdre, fig. 49, peut produire des faces tellement inclinées que de leur réunion avec les faces primordiales il résulte une double pyramide octogone, fig. 52.

52.

Il s'en produit aussi de plusieurs autres manières : par la modification des arêtes culminantes, chacune par deux faces, fig. 53; par la modification des angles des sommets, chacun par huit faces, fig. 54; et enfin par celle des angles latéraux, chacun par quatre faces, fig. 55. Dans les deux premiers cas les pyramides sont obtuses; dans le troisième, elles sont aiguës, fig. 56. Les deux pyramides seraient séparées par un prisme octogone, si l'octaèdre se modifiait en même temps sur les quatre arêtes latérales et sur les quatre angles correspondants, comme fig. 34 et 36.

53. 54.

55. 56.



57.

Ces sortes de solides sont produits sur les parallélipipèdes par la modification des angles, chacun par deux faces plus ou moins obliques, fig. 57.

§ 19. **Pyramide hexagone et prisme hexagone.** — Dans certains octaèdres, il arrive que les modifications latérales, fig. 49, ne se font que sur deux angles opposés : si alors les faces sont convenablement inclinées, il se produit une double pyramide hexagone, fig. 58.

58. 59. 60.

Les sommets seraient séparés par un prisme hexagone, fig. 59, 60, si à la modification des quatre arêtes latérales de l'octaèdre, fig. 36, il se joignait la moitié de celle des angles, fig. 34, pris alternativement.

61. 62. 63.

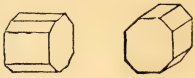
Si les parallélipipèdes se modifiaient seulement aussi sur deux arêtes latérales opposées, on aurait un prisme hexagone comme fig. 61. La pyramide s'obtiendrait sur ce prisme par la modification des

arêtes des bases, fig. 62, qui reconduirait ainsi aux prismes pyramidés, fig. 59, 60. On en obtiendrait un autre par la modification des angles, fig. 63.

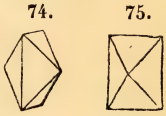
§ 20. **Parallélipipède à axe renversé.** — Il y a des octaèdres qui se modifient au sommet par des faces opposées, fig. 64, et en même temps sur deux arêtes opposées des bases. Si les nouvelles faces s'étendent, fig. 65, et finissent par masquer le premier solide, on obtient un parallélipipède, fig. 66, à axe horizontal.

Si l'octaèdre se modifie dans le sens opposé, comme fig. 67, il en résulte un autre parallélipipède dont l'axe horizontal vient en avant, fig. 68.

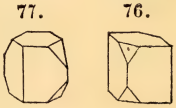
Ces formes se produisent sur les parallélipipèdes, fig. 11 et 40, par la modification de deux arêtes opposées à chaque base, comme fig. 69 et 70.



§ 21. **Octaèdre à axe renversé.** — Les faces qui remplacent les angles latéraux d'un octaèdre, fig. 71, se trouvent quelquefois inégalement inclinées sur les arêtes correspondantes; dès lors, en s'étendant, elles parviennent à se couper plutôt d'un côté que de l'autre, soit en avant, fig. 72, soit latéralement, fig. 73. Si elles font disparaître alors la moitié du premier octaèdre, il en résulte deux nouveaux solides de même genre, fig. 74 et 75, dont les axes sont horizontaux.



Un parallélipipède produit facilement ces sortes d'octaèdres par la modification de la moitié de ses angles solides, comme fig. 76, 77.



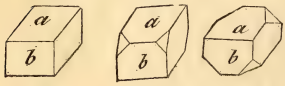
On voit par cette seconde série d'observations diverses sortes d'octaèdres, de parallélipipèdes et de solides pyramidaux qui se rattachent encore les uns aux autres, quelque différence qu'ils puissent en apparence offrir. En voici encore d'autres qu'il faut distinguer.

3° *Modification des solides obliques.*

§ 22. Dans tous les solides que nous venons d'étudier, les faces sont ordonnées par rapport à un axe vertical ; mais il y a des cristaux où l'on aperçoit une obliquité plus ou moins prononcée ; et si, à cette obliquité près, on reconnaît encore des résultats analogues à ceux que nous venons d'indiquer, on en trouve aussi de nouveaux qu'il est nécessaire d'étudier.

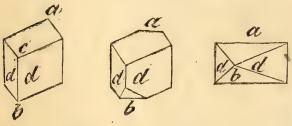
§ 23. **Octaèdres de diverses sortes.** — Il y a trois genres d'octaèdres qui n'existent pas parmi les précédents ; voici comment :

78. 79. 80.

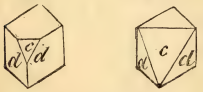


81. 82.

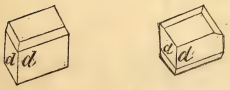
83. 84. 85.



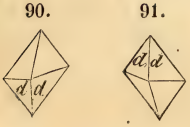
86. 87.



88. 89.



90. 91.



1° Un parallélipipède oblique, fig. 78, se modifie souvent sur la moitié des angles solides, fig. 79 ou 80 ; et si les nouvelles faces s'étendent jusqu'à masquer les faces latérales anciennes et à réduire les autres à des triangles, il en résulte deux nouveaux octaèdres, fig. 81 et 82, qui conservent quatre faces du parallélipipède.

2° Le parallélipipède inverse, fig. 83, en se modifiant sur les angles solides opposés *a* et *b*, fig. 84, conduit à un nouvel octaèdre, fig. 85, qui conserve les traces des six faces parallélipipédiques.

Lorsque sur ce même parallélipipède inverse les modifications ont lieu sur l'angle solide *c* et sur son opposé, fig. 86, il en peut résulter un octaèdre aplati du même genre, fig. 87.

3° Ce même solide se modifie fréquemment sur la moitié des arêtes des bases, fig. 88 et 89, et lorsque les nouvelles faces s'étendent suffisamment, les faces latérales se réduisant à des triangles, il en résulte encore de nouveaux octaèdres, fig. 90, 91, qui conservent quatre des anciennes faces.

Il résulte encore de là six espèces d'octaèdres différents de tous ceux que nous avons vus jusqu'ici.

§ 24. **Parallélipipède de divers degrés d'obliquité.** — Un parallélipipède oblique, comme fig. 78, ne se modifie souvent que sur une seule arête à chaque base, comme fig. 92 ou 93. La face nouvelle peut alors se prolonger de manière à masquer la base ancienne, et il se fait de nouveaux parallélipipèdes, fig. 94 ou 95, plus ou moins obliques que le précédent, l'un dans le même sens, l'autre dans un sens inverse.

92. 93.

94. 95.

Dans les modifications sur les angles, fig. 84 et 86, il arrive aussi que les nouvelles faces font disparaître les bases, et il se forme encore de nouveaux parallélipipèdes obliques, fig. 96, 97.

96. 97.

Parmi toutes les inclinaisons possibles des nouvelles faces, fig. 84 ou 93, il peut se produire des parallélipipèdes droits.

§ 25. **Autre production de parallélipipèdes.** — Parmi tous les parallélipipèdes obliques, fig. 83, il en est dont les faces, toutes égales, sont régulièrement ordonnées autour d'un axe vertical passant par *a* et *b*, et qu'on peut dès lors placer verticalement comme fig. 98. Ces sortes de parallélipipèdes peuvent en produire une infinité d'autres du même genre de quatre manières différentes :

98. 99.

1° En se modifiant sur les six arêtes qui concourent trois à trois aux sommets, fig. 99, ce qui conduit, par extension des nouvelles faces, au solide fig. 100, et enfin au parallélipipède inverse, fig. 101;

100. 101.

2° En se modifiant à chacun des sommets par trois faces, fig. 102; ce qui donne un solide comme le précédent, fig. 103, dont il peut exister un nombre infini d'espèces, suivant le plus ou moins d'inclinaison des faces modifiantes;

102. 103.

3° En se modifiant par trois faces tournées vers celle du parallélipipède, fig. 104, d'où résulte un solide de même position que celui dont on part, fig. 105;

104. 105.

106.

107.

4° En se modifiant sur les angles latéraux, fig. 106, par des faces plus ou moins inclinées à l'axe; il se fait alors des parallélipipèdes de plus en plus aigus, tantôt inverses, fig. 107, 108, tantôt directes, fig. 109. Cette différence tient à la manière dont chaque facette se place, en s'inclinant vers une extrémité de l'axe ou vers l'autre. Le parallélisme à l'axe est la limite des deux sortes de solides.

108.

109.

§ 26. **Dodécaèdres bipyramidaux.** — Lorsque les facettes modifiantes, fig. 106, réduisent les premières à des triangles, il se fait, fig. 110, un dodécaèdre bipyramidal, qui devient régulier quand le parallélipipède inverse qui se produit est identique avec celui dont on part. Chaque parallélipipède pouvant avoir son inverse, il peut se faire un nombre infini de dodécaèdres.

110.

Indépendamment de ces dodécaèdres, où toutes les faces sont des triangles isocèles, il s'en produit beaucoup d'autres qui sont, en général, à triangles scalènes. Cela peut avoir lieu de quatre manières différentes :

111.

112.

1° Par la modification des six arêtes culminantes, chacune par deux faces, fig. 111, qui donne des dodécaèdres obtus, fig. 112, variables à l'infini, suivant les inclinaisons mutuelles des facettes modifiantes;

113.

2° Par six facettes sur chacun des angles culminants, fig. 113, d'où résultent des solides analogues;

114.

3° Par deux facettes à chacun des six angles latéraux, fig. 114, qui produisent des solides plus ou moins aigus, fig. 115;

115.

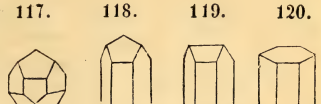
4° Par deux faces sur chacune des six arêtes latérales, fig. 116; d'où résultent des solides analogues à ceux de la fig. 115, mais inverses, les faces culminantes se joignant alors sur les arêtes latérales du solide dont on part.

116.

Il faut remarquer qu'à chaque solide produit par la modification, fig. 114, il peut toujours correspondre un solide identique inverse produit, comme fig. 116.

§ 27. **Production de prismes hexagones.** — Nous avons déjà vu des solides de ce genre se former par la modification des arêtes latérales sur certains parallélipipèdes, § 18; mais les cristaux obliques qui nous occupent en présentent encore d'autres qui se produisent de deux manières :

1° Par la modification des angles latéraux dans la fig. 106, lorsque les nouvelles faces sont parallèles à l'axe : on arrive alors par extension à des solides, fig. 117, 118, et il ne faut plus qu'une modification au sommet, fig. 119, suffisamment profonde, pour avoir un prisme complet, fig. 120;



2° Par une modification sur les arêtes latérales, fig. 121, parallèlement à l'axe, ce qui donne par extension un autre prisme pyramidé, fig. 122; il en résulte par conséquent un second prisme hexagone, fig. 123, inverse du premier, lorsqu'il se joint aussi une modification suffisamment profonde à chaque sommet.

DIVISION DES CRISTAUX EN SIX GROUPES.

§ 28. L'observation fait voir que la coexistence ou la disjonction des facettes modifiantes sur les parties de même nom ne sont pas des effets du hasard; il se présente à cet égard une constance de résultats, d'une espèce ou de l'autre, dont il faut nécessairement chercher la cause dans des propriétés particulières que possèdent les solides modifiés. Ce sont ces propriétés, que nous allons maintenant étudier, qui établissent les six groupes cristallins que nous avons précédemment annoncés, § 12.

PREMIER GROUPE CRISTALLIN.

Octaèdre régulier, cube, etc.

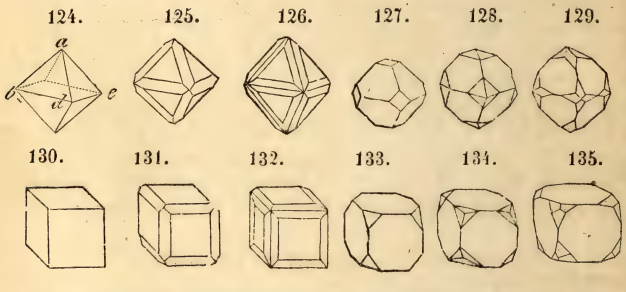
§ 29. **Caractères physiques.** — Parmi tous les octaèdres que peuvent présenter les corps bruts, il en est un, fig. 124, page suivante, qui possède la propriété d'avoir toujours toutes les parties de même nom modifiées à la fois de la même manière; c'est-à-dire :

1° Que toutes ses arêtes sont toujours modifiées à la fois, par une seule face, ou par deux, fig. 125 ou 126;

2° Que tous les angles solides sont remplacés à la fois, tantôt par une facette, fig. 127, tantôt par quatre, tournées vers les faces, fig. 128, ou vers les arêtes, fig. 129, ou même par huit.

Le parallélipipède qui se rattache à cette espèce d'octaèdre, fig. 130, présente des propriétés corrélatives : les arêtes se modifient toutes à la fois, par une seule face ou par deux, fig. 131 ou 132; tous les angles solides sont aussi modifiés à la fois, par une face, fig. 133, ou par trois, fig. 134 et 135, ou enfin par six.

C'est par suite de ces propriétés que se forment tous les solides dont nous avons montré la production, fig. 6 à 33, et jamais aucun de ceux qui viennent ensuite.



§ 30. **Caractères géométriques.** — La mesure des angles dièdres fait voir que l'octaèdre a toutes ses faces également inclinées entre elles de 109° 28′ 16″, et qu'il en est de même du parallélipipède correspondant, dont toutes les faces se rencontrent sous l'angle de 90°.

Dans les diverses modifications, chacune des nouvelles facettes s'incline du même nombre de degrés sur les faces adjacentes du solide qu'elles modifient.

Ces observations conduisent à d'autres caractères, qui ont sur les premiers l'avantage de la brièveté et de la netteté. On en déduit :

1° Que le tétraèdre qu'on peut rencontrer dans ce groupe est le *tétraèdre régulier* de la géométrie, dont les faces sont des triangles équilatéraux, et sont toutes inclinées entre elles de 70° 31′ 44″;

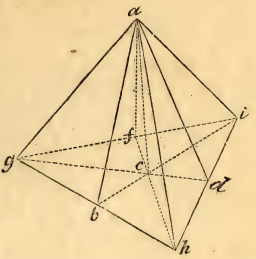
2° Que l'octaèdre est l'*octaèdre régulier*, formé de huit faces triangulaires équilatérales, inclinées entre elles de 109° 28′ 16″;

3° Que le parallélipipède qui s'y trouve est le *cube*, composé de six faces carrées.

§ 31. Il n'est pas inutile de donner quelques explications relatives à ces résultats.

1° Tétraèdre. — Un angle dièdre se mesure par les perpendiculaires menées dans les deux plans qui le forment, à un même point de l'arête de jonction. Ainsi *ac*, fig. 136, étant perpendiculaires à la base du solide, *ab* et *cb* perpendiculaires à l'arête *gh*, l'angle *abc* mesurera l'inclinaison des deux plans. De même *adc*, *afc*, seront les angles dièdres des autres plans.

136.



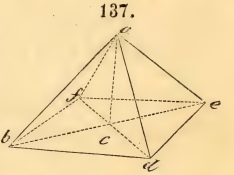
Maintenant l'observation montre que le tétraèdre de ce groupe a toutes ses faces également inclinées entre elles ; donc tous les triangles *acb*, *acd*, *acf*, sont égaux, et par conséquent les lignes *cb*, *cd*, *cf* de même grandeur ; donc aussi le point *c*, projection du sommet, se trouve à égale distance des trois côtés.

De ces données diverses, on conclut que les traces des faces sur le plan horizontal qui ne sont autre chose que les côtés de la base de la pyramide, font aussi entre elles des angles égaux ; donc cette base est un triangle équiangle, et par conséquent équilatéral ; donc aussi les projections *cg*, *ci*, *ch*, des arêtes, sont égales, et par suite ces arêtes elles-mêmes.

Les mêmes conséquences ayant lieu, quelle que soit celle des faces du solide qu'on prend pour base, il en résulte qu'elles présentent toutes des triangles équilatéraux et égaux.

2° Octaèdre. — Toutes les faces de l'une des pyramides étant également inclinées sur celles de l'autre, si l'on suppose un plan par les arêtes *bd*, *de*, fig. 124, on détachera une pyramide, fig. 137, dont les quatre faces sont également inclinées à la base, ce qui place la projection *c* du sommet à égale distance des quatre côtés.

137.



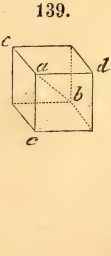
Cela posé, les faces culminantes étant toutes également inclinées entre elles, leurs traces, qui sont les côtés de la base, font aussi entre elles des angles égaux et conséquemment droits ; et comme ces côtés sont à égale distance du point *c*, la base est un carré. De là il suit que les projections *cb*, *cd*, *ce*, *cf*, des arêtes culminantes, sont égales, et par conséquent ces arêtes elles-mêmes.

Maintenant, puisque toutes les faces sont également inclinées entre elles, si l'on prend pour sommet de l'octaèdre un angle quelconque, on arrivera au même résultat, et l'on conclura que toutes les arêtes sont égales ; donc, toutes les faces sont des triangles équilatéraux égaux, ce qui est le caractère de l'octaèdre régulier.

3° Parallélipipède. — Toutes les faces étant à angle droit, le solide est rectangulaire et droit ; mais les faces qui le produisent sur l'octaèdre, fig. 138, étant également inclinées sur les faces adjacentes, il en résulte qu'en se réunissant en *a*, fig. 139, elles sont toutes également inclinées sur la diagonale *ab*. Donc, si l'on fait passer un plan par les trois points *c*, *d*, *e*, on détachera une sorte de tétraèdre dont toutes les faces seront

138.

139.



également inclinées à la base, où la projection du sommet se trouvera au centre, où la base sera un triangle équilatéral, où les arêtes culminantes seront égales (voyez ci-dessus 1°); donc, ce parallépipède est un cube.

DEUXIÈME GROUPE CRISTALLIN.

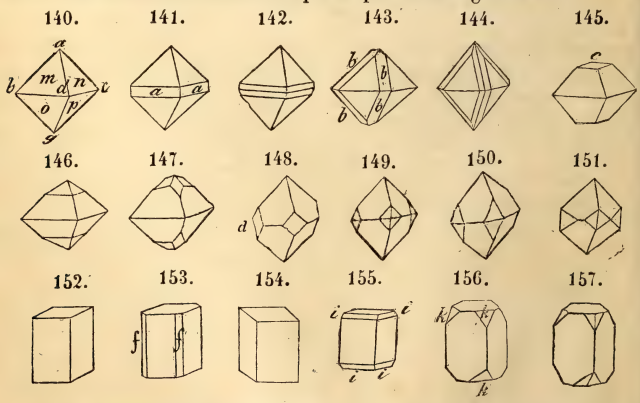
Octaèdres et prismes à bases carrées.

§ 32. **Caractères physiques.** — Certains octaèdres, fig. 140, au lieu d'être essentiellement modifiés à la fois sur toutes les arêtes, ne le sont souvent que sur les arêtes latérales, fig. 141, 142, ou sur celles du sommet, fig. 143 ou 144, par une face ou par deux.

Sur les angles, il se fait aussi isolément diverses modifications au sommet, fig. 145 à 147, par une face ou par quatre, ou sur les angles latéraux, fig. 148 à 151; mais, dans ce dernier cas, les facettes tournées vers les arêtes ne vont que deux à deux, fig. 150 ou 151.

Un parallélipipède de ce groupe, fig. 152, se modifie isolément sur les arêtes latérales, fig. 153, ce qui donne lieu au parallélipipède inverse, fig. 154, ou bien sur les arêtes des bases, fig. 155. Sur les angles, il se modifie par une face, fig. 156, ou par deux, fig. 157; jamais essentiellement par trois, comme dans le premier groupe.

Par suite de ces propriétés, il existe dans ce groupe diverses sortes d'octaèdres directs ou inverses, deux parallélipipèdes inverses, des prismes et des pyramides octogones; en un mot, tous les solides dont nous avons indiqué la production § 16 à 18.



§ 33. **Caractères géométriques.** — Aucun des octaèdres de ce groupe ne présente entre ses faces l'égalité d'inclinaison qui carac-

térise l'octaèdre régulier. Autour de deux sommets, *a* et *g*, fig. 140, les quatre faces culminantes sont également inclinées entre elles ; mais d'un sommet sur l'autre les angles sont différents, quoique aussi tous égaux entre eux.

D'un autre côté, les modifications sur les parties de même nom ne présentent pas toutes la même inclinaison sur les faces adjacentes. Les faces *a*, fig. 141, s'inclinent également sur les faces voisines et sous un certain angle ; mais les faces *b*, fig. 143, s'inclinent sous un angle différent, et toutes également. Il en est de même des facettes *c*, fig. 145, comparées aux facettes *d*, fig. 148.

Dans le parallélipipède, chaque facette latérale *f*, fig. 153, s'incline également sur les faces voisines, et toutes de la même manière ; les facettes *i*, fig. 155, s'inclinent inégalement sur la base et sur les pans, mais toutes de même. Aux angles solides, chaque facette *k*, fig. 156, s'incline également sur les deux faces latérales, mais autrement sur la base.

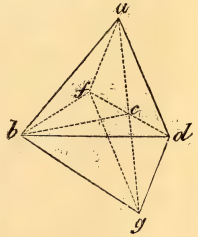
De là il suit que les octaèdres de ce groupe sont à base carrée ; que les arêtes culminantes sont toutes égales et d'une certaine longueur, et celles de la base d'une longueur différente.

Dans les parallélipipèdes, les faces sont encore toutes à angle droit, mais les bases sont des carrés et les pans des rectangles ; c'est-à-dire que ces solides sont des *prismes à bases carrées*.

§ 34. Ces résultats ne sont en quelque sorte que les conséquences des raisonnements précédents, § 31, combinés avec les données particulières que fournissent les formes du groupe actuel.

Dans l'octaèdre, fig. 140, en prenant *ag* pour axe, on conclut de l'égalité d'inclinaison des faces d'une pyramide sur l'autre, que la projection du sommet est au centre de la base commune (§ 31, 2°) ; de là, et de l'égalité d'inclinaison des faces culminantes entre elles, on conclut que la base est un carré, et que dès lors les arêtes qui concourent aux sommets *a* et *g* sont égales.

158.



Les choses se passent autrement sur un autre sommet, *b* par exemple, fig. 140 ; la pyramide, qu'on peut supposer détachée, fig. 158, a bien, d'après l'observation, ses quatre faces également inclinées à la base, mais non entre elles. Il y a un certain angle de *abd* sur *bgd*, et un autre sur les faces en retour ; par conséquent les angles que forment entre elles les arêtes de la base ne sont pas égaux. L'angle en *d*, et son opposé en *f*, sont d'une valeur, et les angles en *a* et *g* d'une autre ; d'où il suit que la base est un rhombe, car les arêtes sont égales, d'après la première observation ; mais les projections *ca*, *cd*, des arêtes culminantes sont inégales, par conséquent ces arêtes le sont aussi.

Quant aux prismes, leur nature résulte de leur production sur l'octaèdre à base carrée. L'un d'eux se forme de la réunion des modifications, fig. 145 et 148, d'où

159. 160.

résulte le polyèdre, fig. 159. Or, les facettes *a* sont toutes inclinées également et d'un certain angle sur les faces adjacentes, et la facette *b* est inclinée sous un autre angle; donc, quand elles se réunissent pour former l'angle solide *c* du parallélipipède, fig. 160, les faces latérales sont toutes deux inclinées à l'axe *cd* d'une certaine manière, et la base est inclinée autrement.

Il résulte de là que, dans le tétraèdre qu'on pourrait détacher en faisant passer un plan par *efg*, la projection du sommet serait à égale distance des côtés *ef*, *gf*, et à une distance différente de *eg*. La base serait donc un triangle isocèle; et les projections des arêtes, *cg*, *ce*, seraient égales, tandis que la projection de *cf* serait différente. Cela montre l'égalité des deux premières arêtes, et la différence de la troisième. La base est donc un carré, et les faces latérales des rectangles.

On trouverait le même résultat pour le prisme inverse, qui se produit sur l'octaèdre inverse de la même manière que le précédent.

TROISIÈME GROUPE CRISTALLIN.

Octaèdres et prismes rectangulaires et rhomboïdaux.

§ 35. **Caractères physiques.** — Il y a des octaèdres, fig. 161, qui ne se modifient pas même essentiellement sur toutes les arêtes latérales à la fois. Il n'y en a souvent que deux de modifiés, tantôt par une face, fig. 162 ou 163, tantôt par deux.

Souvent aussi il ne se présente que deux facettes au sommet, fig. 164 ou 165, au lieu de quatre, comme fig. 146.

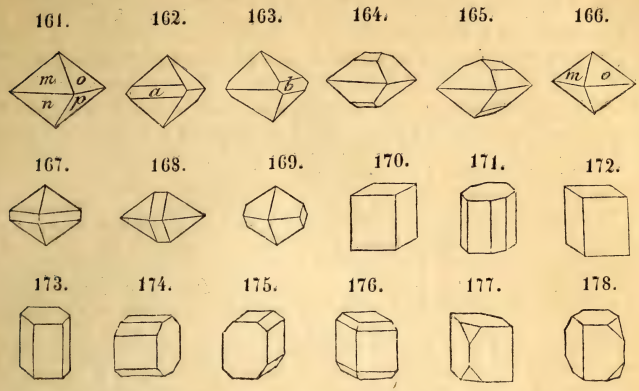
Les octaèdres inverses, fig. 166, se conduisent autrement: les quatre arêtes latérales se modifient toujours ensemble, fig. 167; mais il n'y a souvent que la moitié des arêtes culminantes de modifiées, par exemple fig. 168, et il en est de même des angles latéraux, par exemple fig. 169

Les parallélipipèdes ont aussi des caractères particuliers: l'un, direct, fig. 170, peut être modifié à la fois sur toutes les arêtes latérales, fig. 171; l'autre, inverse du premier, fig. 172, ne se modifie souvent que sur la moitié de ces arêtes, fig. 173, d'où résulte un prisme hexagone.

Le parallélipipède direct ne se modifie souvent que sur la moitié des arêtes des bases, fig. 174 ou 175, en donnant des parallélipipèdes renversés; l'autre se modifie sur toutes les arêtes, fig. 176; mais en revanche il n'a souvent que la moitié des angles solides modifiés, fig. 177 ou 178, tandis que dans le premier tous les angles se modifient à la fois.

C'est de ces propriétés que résultent les octaèdres particuliers, les prismes et les pyramides hexagones, etc., que nous avons vus

§ 19 à 21, ce qui n'empêche pas beaucoup de formes plus ou moins analogues en apparence à celles du groupe précédent.



§ 36. **Caractères géométriques.** — Certains octaèdres de ce groupe, fig. 161, sont tellement constitués, que les faces *m* et *n* sont inclinées sous un certain angle, et les faces *o* et *p* sous un autre; mais vers un même sommet les quatre faces sont également inclinées entre elles. Les facettes modifiantes *a* et *b*, fig. 162 et 163, s'inclinent chacune également sur les deux faces adjacentes; mais l'une sous un certain angle, l'autre sous un angle différent.

L'un des parallélipipèdes, fig. 170, est rectangulaire; mais l'autre, fig. 172, présente deux sortes d'angles entre ses pans. Dans le premier, une facette placée sur une arête latérale est inégalement inclinée sur les faces adjacentes; dans l'autre, ces inclinaisons sont égales, mais d'un certain angle pour deux facettes opposées, et d'un angle différent pour les deux autres, etc.

Dans les octaèdres inverses, fig. 166, les faces d'un sommet sont également inclinées sur celles du second; mais vers un même sommet les faces présentent deux sortes d'inclinaisons mutuelles: l'une de *m* sur *o*, l'autre de *m* ou de *o* sur la face de retour.

Il suit de ces données que les *octaèdres directs* sont à *base rectangle*, les *octaèdres inverses à base rhombe*, et que des deux prismes, l'un est à *base rectangulaire*, l'autre à *base rhombe*. Les deux parallélipipèdes à axe renversé sont aussi à base rhombe.

§ 37. Il suffit de quelques observations pour démontrer ces résultats.

1° Dans l'octaèdre rectangulaire, fig. 161, il résulte des deux sortes d'inclinai-

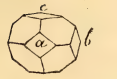
sons des faces culminantes sur la base commune, que la projection du sommet est à égale distance de deux des arêtes de cette base, et à une distance différente des deux autres; donc, la base a les côtés inégaux (voyez § 31, 2°).

D'un autre côté, les faces culminantes étant également inclinées entre elles, les quatre angles de la base sont égaux, et par conséquent droits : donc la base est un rectangle; mais alors les demi-diagonales sont égales: donc les arêtes culminantes dont elles sont les projections le sont aussi.

2° Les caractères de l'octaèdre, fig. 166, sont précisément ceux de la pyramide que nous avons considérée § 34, et c'est en raisonnant de même qu'on voit ici que la base est un rhombe et qu'il y a deux sortes d'arêtes à chaque sommet, arêtes qui ne sont pas les mêmes que celles de la base commune.

3° Le premier des prismes que nous avons obtenus résulte de la modification du sommet réunie à celle des angles latéraux dans l'octaèdre à base rhombe, comme fig. 179. Or, chacune des faces *a*, *b*, *c*, s'incline d'une manière différente sur la face adjacente de l'octaèdre : donc, en se réunissant pour former l'angle solide *d*, fig. 180, elles se trouvent inégalement inclinées sur l'axe *df*. Il en résulte que dans le tétraèdre qu'on pourrait détacher en faisant passer un plan par *e*, *g*, *h*, la projection du sommet serait à des distances inégales des trois côtés de la base; les projections des arêtes culminantes seraient toutes trois inégales, et, par conséquent, ces arêtes elles-mêmes : donc le solide rectangulaire a ses trois dimensions inégales.

179.



180.

4° Enfin le second parallélipipède résulte de la modification de l'octaèdre rectangulaire sur ses six angles solides, fig. 181. Or, les faces *b* font toutes deux le même angle avec *c*, et la face *a* fait un angle différent : donc, en se réunissant pour former l'angle *i* du parallélipipède, fig. 182, les faces latérales font des angles égaux avec la diagonale *ik*, et la base fait un angle différent. On conclut de là, comme § 34, que les deux arêtes des bases sont égales, et l'arête latérale différente. Mais comme ici les faces latérales ne sont pas à angle droit l'une sur l'autre, la base est un rhombe au lieu d'un carré.

181.

182.

QUATRIÈME GROUPE CRISTALLIN.

Octaèdres et prismes obliques divers.

§ 38. **Caractères physiques.**—Nous n'examinerons ici que les octaèdres et les parallélipipèdes qui ont le plus de rapports avec ceux du groupe précédent, pour constater les différences.

L'octaèdre, fig. 183, diffère essentiellement des précédents, en ce que souvent il ne se modifie plus que sur la moitié des arêtes culminantes, fig. 184 ou 185.

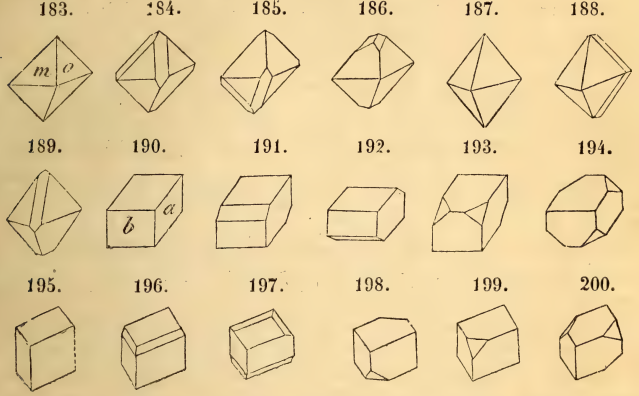
Au sommet, au lieu de se modifier par quatre faces tournées vers les arêtes, il ne se modifie plus que par deux, fig. 186.

L'octaèdre inverse, fig. 187, se modifie bien sur les quatre arêtes latérales comme dans le groupe précédent, fig. 167, ou

bien sur les deux arêtes de côté à chaque sommet, fig. 188 ; mais il ne se modifie que sur la moitié des autres, fig. 189.

Le parallélipipède, fig. 190, se modifie sur les quatre arêtes latérales des bases, comme fig. 175 ; mais il ne se modifie souvent que sur la moitié des autres, fig. 191 ou 192 ; et de même sur la moitié des angles solides, fig. 193 ou 194.

Le parallélipipède inverse, fig. 195, ne se modifie que sur la moitié des arêtes des bases, fig. 196 ou 197 : on ne le trouve sou-



vent modifié que sur deux angles solides opposés, fig. 198 ou 199, ou bien sur les quatre autres à la fois, fig. 200.

De ces propriétés résultent tous les octaèdres et parallélipipèdes particuliers dont nous avons vu la production § 23 et 24.

§ 39. **Caractères géométriques.** — Dans les octaèdres directs, fig. 183, il y a deux sortes d'angles de la pyramide supérieure sur l'inférieure, et deux sortes d'angles entre les faces culminantes, l'un de *m* sur *o*, l'autre de *o* sur la face de retour.

Dans l'octaèdre inverse, fig. 187, il y a deux sortes d'angles à la base et trois sortes d'angles entre les faces culminantes.

Dans le prisme direct, fig. 190, les faces latérales sont à angle droit, et il en est de même de la base sur les faces latérales *a* ; mais de cette base sur *b*, et sur son opposé, les angles sont obliques

Dans le prisme inverse, fig. 195, il n'y a aucun angle droit, la base faisant aussi des angles obliques avec les faces latérales.

Les facettes modifiantes sont aussi inégalement inclinées sur les faces voisines, quoique toutes celles du même ordre s'inclinent de la même manière.

CINQUIÈME GROUPE CRISTALLIN.

Parallélipipèdes obliques obliquangles.

§ 40. Il n'y a jusqu'à présent dans ce groupe que des parallélipipèdes, fig. 201, diversement modifiés, qui se distinguent des précédents par différents caractères :

1° En ce que, s'ils se modifient sur deux arêtes latérales opposées, fig. 202, les facettes ne sont pas inclinées également sur les faces adjacentes, comme cela a lieu dans le cas des prismes rhomboïdaux, fig. 173, droits ou obliques ;

2° En ce que souvent ils ne se modifient que sur une arête à chaque base, quelle qu'en soit l'espèce, par exemple, fig. 203, 204 ; tandis que dans le groupe précédent même, les arêtes latérales des bases se modifient toujours toutes les quatre à la fois comme dans le troisième, fig. 175;

3° En ce qu'ils ne se modifient que sur deux angles solides opposés, par exemple, fig. 205, 206 ; tandis que, dans le groupe précédent, on trouvait fréquemment les mêmes modifications sur quatre angles à la fois, fig. 193, 194, 200.

Ces propriétés conduisent à reconnaître que ces parallélipipèdes sont non seulement *obliques*, mais encore à *base de parallélogramme obliquangle ;* c'est-à-dire qu'ils ne sont ni rectangulaires ni rhomboïdaux.

SIXIÈME GROUPE CRISTALLIN.

Rhomboèdres, prismes hexagones réguliers, etc.

§ 41. **Caractères physiques.** — Ici les octaèdres sont très rares, et nous ne nous en occuperons pas. Les formes dominantes sont des parallélipipèdes et des prismes hexagones.

Les parallélipipèdes, fig. 207, diffèrent beaucoup des prismes rhomboïdaux obliques, par le nombre et la position des facettes modifiantes qui se manifestent sur leurs diverses parties.

Ils se modifient à la fois sur les six arêtes qui aboutissent trois à trois à chacun des angles opposés *a* et *b*, soit par une seule face, soit par deux, fig. 208, 209. Des modifications de même

genre, par une facette ou par deux, se placent aussi à la fois sur les six autres arêtes, fig. 210, 211. On voit là une grande différence avec les prismes obliques précédents, qui ne se modifient que sur quatre des arêtes que nous venons d'indiquer, fig. 196, 197.

207. 208 209. 210. 211. 212. 213.

214. 215. 216. 217. 218. 219. 220.

Ces parallélipipèdes se modifient aussi comme les prismes obliques, fig. 198, par une face sur chacun des angles opposés culminants, fig. 212, en donnant aussi une espèce d'octaèdre ; mais de plus la modification se fait souvent par trois faces tournées vers celle du solide, fig. 213, ou vers les arêtes, fig. 214. Une différence plus grande encore, c'est que les six autres angles se modifient tous à la fois, fig. 215, et même par deux faces, fig. 216 ; tandis que dans le prisme oblique ordinaire il n'y a souvent que quatre de ces angles de modifiés ensemble, fig. 200, les deux autres se modifiant séparément, fig. 199.

Le prisme hexagone qui appartient à ce groupe, fig. 217, se modifie à la fois sur toutes les arêtes latérales, fig. 218, ou bien sur toutes les arêtes des bases, fig. 219, ou enfin sur tous les angles solides, fig. 220 (1).

---

(1) Le prisme hexagone du troisième groupe, fig. 221, se modifie de la manière suivante :

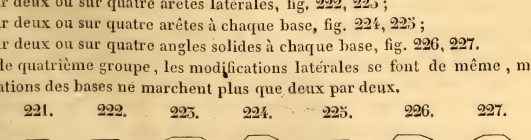
1° Sur deux ou sur quatre arêtes latérales, fig. 222, 223 ;

2° Sur deux ou sur quatre arêtes à chaque base, fig. 224, 225 ;

3° Sur deux ou sur quatre angles solides à chaque base, fig. 226, 227.

Dans le quatrième groupe, les modifications latérales se font de même, mais les modifications des bases ne marchent plus que deux par deux.

221. 222. 223. 224. 225. 226. 227.



C'est d'après ces propriétés que le solide donne un grand nombre de parallélipipèdes plus ou moins aigus, directs ou inverses, ainsi que les prismes et les dodécaèdres dont nous avons indiqué la production, § 25 à 27.

§ 42. **Caractères géométriques.** — La mesure des angles fait voir que dans les parallélipipèdes de cette espèce, les trois faces qui concourent aux sommets *a* ou *b* sont également inclinées entre elles; de plus, les faces *a* ou *b* produites aux sommets, fig. 212, sont également inclinées sur les trois faces adjacentes. De ces données on conclut que toutes les arêtes du solide sont égales, et, comme en outre on ne trouve aucun angle droit, il en résulte que toutes les faces sont des rhombes égaux, disposés symétriquement autour d'un axe *ab*. Ce solide prend, à cause de la forme de ses faces, le nom de *rhomboèdre* (1).

Le prisme hexagone a toutes ses faces latérales inclinées entre elles de 120° : c'est le caractère du *prisme hexagone régulier*.

§ 43. **Systèmes cristallins. Réduction des cristaux à six formes.** — On doit voir maintenant que les six groupes, entre lesquels se partagent toutes les formes, diffèrent essentiellement les uns des autres par toutes les propriétés, physiques et géométriques, des solides qu'ils renferment. Nous n'avons comparé, à la vérité, que les octaèdres, les parallélipipèdes et les prismes à base d'hexagone; mais la comparaison se ferait également entre tous les autres solides, et l'on arriverait à des résultats analogues.

Ainsi, dans chaque groupe, toutes les formes composent un système où tout est rigoureusement coordonné, et que l'on ne peut confondre sous aucun rapport avec le système voisin; c'est pourquoi chacun des groupes est aussi désigné sous le nom de *système cristallin*. Si l'on prend, par exemple, le parallélipipède pour terme de comparaison, on aura :

1° Le *système cubique*, auquel se rapportent l'alun, le sel commun, le diamant, le grenat, etc. ;

2° Le *système prismatique carré*, auquel se rapportent, par exemple, le minerai d'étain, le calomel, etc. ;

3° Le *système prismatique rectangulaire* ou *rhomboïdal, droit*, auquel se rapportent la topaze, le soufre, les sulfates de baryte et de plomb, l'émétique, etc.

4° Le *système prismatique rectangulaire*, ou *rhomboïdal, obli-*

(1) Si l'on conçoit un plan qui passe par les trois diagonales placées comme *cd*, fig. 207, on aura un tétraèdre qu'on calculera comme § 31, et pour lequel on trouvera que la base est un triangle équilatéral, et que les arêtes culminantes sont égales.

que, auquel se rapportent la pierre à plâtre, le sulfate de fer ou couperose verte, l'acide oxalique, etc.

5° Le *système prismatique oblique à base de parallélogramme obliquangle*, auquel se rapportent, par exemple, le sulfate de cuivre ou couperose bleue, le quadroxalate de potasse, l'acide paratartrique, etc.

6° Enfin, le *système rhomboédrique*, qu'on observe dans la pierre calcaire, le cristal de roche, l'émeraude, l'azotate de soude, etc.

Maintenant, puisque, dans chaque groupe, les différentes formes se déduisent facilement les unes des autres, il est clair qu'une forme simple quelconque de chacun d'eux peut être considérée comme type de toutes les autres; par conséquent toutes les formes cristallines se rattachent à six espèces de solides d'un même genre, qui diffèrent par leurs propriétés diverses : six espèces d'octaèdres dont chacun a ses caractères particuliers, ou six espèces de parallélipipèdes, etc. : seulement on ne pourrait pas dire six espèces de prismes hexagones, puisque les deux premiers groupes ne comportent pas ce genre de formes.

Il suffit donc de se faire une idée nette de six espèces de solides, pour acquérir celle de tous les genres de formes cristallines qu'on peut trouver parmi les corps bruts. Par conséquent, aussi, toute la cristallisation d'une substance peut être représentée par une seule forme, convenablement choisie, et bien déterminée quant à ses dimensions relatives. C'est une telle forme qu'on nomme la *forme type* ou la *forme primitive* de la substance.

Faisons comprendre ce que cela signifie. Tous les solides réguliers sont déterminés par eux-mêmes ; ainsi un cube, un octaèdre régulier, ou un tétraèdre, sont chacun des solides uniques qui n'admettent aucune variété. Mais il peut exister un nombre infini de prismes à bases carrées ou rectangulaires; un nombre infini d'octaèdres à bases carrées, à bases rectangulaires, ou de tétraèdres irréguliers : tout dépend du rapport qu'il peut y avoir entre la longueur de certaines arêtes et celle des arêtes d'une espèce différente. Ainsi, pour donner une idée nette d'un prisme à base carrée, il faut indiquer le rapport entre la hauteur et le côté de la base; par exemple, dire que la base est 1 et la hauteur 2, 3 ou 4, etc. § 74.

§ 44. **Loi de symétrie.** — Si l'on compare maintenant les caractères physiques des principales formes de chaque groupe avec les caractères géométriques, on arrive à un fait général qu'on a nommé *loi de symétrie*, savoir : que *dans un cristal toutes les parties de même espèce sont modifiées à la fois et de la même manière;* ou réciproquement : que *les parties d'espèces différentes se modifient isolément, ou différemment.*

Ainsi, quand toutes les arêtes d'un cristal sont de même espèce,

elles restent toutes intactes à la fois ou se modifient toutes à la fois de la même manière : c'est ce qui a lieu dans le cube, dans l'octaèdre régulier, etc.

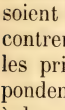
Quand il y a plusieurs espèces d'arêtes, il y a autant d'espèces de modifications qui peuvent marcher chacune isolément : c'est ce que l'on voit dans les octaèdres à base carrée, à base rectangulaire, etc., ou dans les prismes de ces divers groupes. En effet, s'il y a dans les uns deux espèces d'arêtes, il s'y présente aussi deux espèces de modifications qui peuvent marcher isolément ; et s'il y a trois espèces d'arêtes dans les autres, il s'y trouve de même trois espèces de modifications, etc.

Il faut observer que par arêtes de même espèce on n'entend pas seulement des arêtes égales, mais des arêtes qui présentent à la fois le caractère d'égalité et celui de position à la jonction de plans qui font entre eux des angles égaux. Ainsi, dans un prisme rhomboïdal, les quatre arêtes latérales sont égales, et cependant elles sont de deux espèces ; il y en a deux qui se trouvent à l'intersection de plans réunis sous un angle aigu, tandis que les deux autres se trouvent à la rencontre de plans réunis sous un angle obtus.

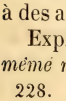
On conçoit facilement, d'après cela, que, dans des prismes droits à bases carrées ou à bases rhombes, toutes les arêtes des bases soient de même espèce, puisque les faces qui les forment se rencontrent toutes à angle droit ; mais il n'en est plus de même dans les prismes obliques, parce qu'alors il y a des arêtes qui correspondent à des angles dièdres aigus, et d'autres qui correspondent à des angles obtus.

Expliquons aussi ce que signifient les expressions *modifié de la même manière* ou *modifié différemment*. Pour cela il faut prendre la mesure des angles. Par exemple, dans un prisme à bases carrées, il arrive souvent que toutes les arêtes, dont il y a cependant deux espèces, se trouvent modifiées à la fois, fig. 228 ; mais elles le sont différemment. En effet, la mesure des inclinaisons fait voir que chaque facette latérale est également inclinée sur les deux faces adjacentes ; mais chacune des facettes formées sur les arêtes des bases présente deux sortes d'inclinaisons : l'une sur la base, l'autre, différente, sur la face latérale correspondante. C'est par là que le prisme, ainsi modifié, diffère du cube modifié lui-même sur toutes ses arêtes, fig. 229, qui a la même apparence ; car ici, l'une quelconque des facettes modifiantes, quelle que soit sa position, présente toujours la même inclinaison sur les deux faces adjacentes.

228.



229.



Voici, à cet égard, ce que l'observation nous offre toujours : lorsqu'une arête se trouve à l'intersection de deux faces égales, une facette unique qui la remplace est toujours également inclinée sur ces deux faces. Si l'arête se trouve, au contraire, entre deux faces inégales, la facette qui la remplace est toujours inégalement inclinée. C'est ce complément de la loi de symétrie qu'on veut indiquer en disant que les modifications se font de la même manière ou d'une manière différente.

Tout ce que nous avons dit à l'égard des arêtes, il faut l'entendre aussi des angles solides.

§ 45. **Exceptions apparentes.** — Il y a, cependant, quelques cas où les modifications se font autrement que nous ne venons de l'indiquer, et paraissent dès lors faire exception à la loi de symétrie ; mais ces faits ne sont pas plus des anomalies que les autres ; ils nous présentent seulement un nouvel ordre de phénomènes qui complète l'idée qu'on doit prendre des parties de même espèce ou d'espèces différentes. Établissons les faits.

1° Il y a des cristaux (boracite) dont toutes les faces se rencontrent à angle droit, dont les huit angles solides, par conséquent, sont géométriquement identiques, et qui, néanmoins, ne sont fréquemment modifiés que sur quatre de leurs angles, soit comme fig. 230, soit comme fig. 231, où, aux extrémités de chaque diagonale solide, il se trouve un angle modifié et un angle intact. Cette circonstance conduit, pour le premier cas, à un tétraèdre placé comme fig. 232, et, pour le second, à un tétraèdre placé comme fig. 233.

230. 231.

232. 233.

De ce que les angles solides étaient identiques et ne se modifiaient pas tous en même temps, on a conclu qu'il y avait exception à la loi de symétrie. Mais on peut dire aussi que si tous les angles sont géométriquement identiques, ils ne le sont pas physiquement, et que, sous ce rapport, la loi de symétrie subsiste. Pour cela il suffit d'imaginer que le parallélipipède de la boracite est composé de petits tétraèdres rangés en files de manière qu'une base corresponde à un angle solide et le sommet à l'angle opposé, qui, dès lors, est physiquement d'une espèce contraire au premier : la loi de symétrie veut alors que l'un puisse être modifié sans l'autre.

2° On trouve quelque chose de semblable dans les prismes à bases d'hexagone régulier. Toutes les arêtes latérales sont égales

et géométriquement identiques ; toutes les arêtes des bases offrent entre elles la même identité ; enfin, tous les angles solides sont égaux : donc, d'après la loi de symétrie, toutes les arêtes des bases doivent être modifiées en même temps de la même manière ; et il en est de même des arêtes latérales, ainsi que des angles solides : c'est, en effet, ce qui existe dans beaucoup de substances, par exemple dans l'émeraude.

Mais il y a des corps où les choses se passent autrement. Dans quelques uns, le prisme hexagone se modifie seulement sur trois arêtes alternatives des bases, fig. 234, ou sur trois angles, fig. 235 (calcaire, rubis, saphir) ; ailleurs, il n'y a de modifications que sur trois arêtes alternes latérales, fig. 236 (tourmaline).

234.

235.

236.

Tout cela a été considéré comme autant d'exceptions à la loi de symétrie ; et cependant, en prenant les structures en considération, on voit que cette loi est parfaitement conservée. Ainsi les prismes qui se modifient sur toutes les parties géométriquement identiques peuvent être considérés comme formés de petites molécules prismatiques de même espèce, ou de prismes triangulaires équilatéraux. Ceux qui ne se modifient que sur la moitié des angles solides ou sur la moitié des arêtes des bases, sont formés de molécules rhomboédriques, modifiés au sommet et sur les parties latérales, fig. 237 ou 238, empilés dans le sens de leur axe, fig. 239 ou 240. Quant aux prismes qui se modifient sur trois des arêtes latérales, on pourrait les considérer, par exemple, comme composés de trois prismes rhomboïdaux de 60° et 120°, fig. 241, dont l'ensemble présenterait alors latéralement trois arêtes d'une espèce, et trois autres physiquement différentes ; il y aurait de même deux espèces d'angles solides sous le rapport physique. Mais pour parvenir ainsi à fixer une forme aux molécules composantes, il faut connaître exactement toutes les propriétés du cristal, afin de les mettre toutes en harmonie par le choix qu'on doit faire, et ce ne peut être que le résultat d'une étude très approfondie.

237

238.

239.

240.

241.

3° **Dodécaèdre pentagonal et icosaèdre.** — Il y a des cubes qui offrent aussi des propriétés telles que leurs arêtes, qui sont toutes modifiées à la fois, et géométriquement de la même manière, présentent, en outre, ce caractère que la facette produite est inégale-

ment inclinée sur les faces adjacentes, d'où il suit que ces faces ne sont pas physiquement identiques ; et. en effet, elles sont souvent striées, comme fig. 242, et de manière que les stries d'une face sont perpendiculaires à celles de l'autre.

242.

Quelle que soit la forme moléculaire qui puisse rendre compte de ces différences, la modification des arêtes du cube, fig. 243, par une seule face conduit à un polyèdre que nous n'avons pas encore aperçu ; c'est un dodécaèdre pentagonal, fig. 244, qui est caractérisée par des inclinaisons mutuelles d'environ 127° entre certaines faces, et d'environ 113° 30' entre les autres (1).

243. 244.

Ce polyèdre, en se combinant avec les modifications des angles solides du cube, en produit un autre composé de vingt faces triangulaires, fig. 245 : c'est un icosaèdre formé de huit triangles équilatéraux, qui correspondent aux faces de l'octaèdre, et de douze triangles isocèles ; en quoi il diffère de l'icosaèdre de la géométrie, dont tous les triangles sont équilatéraux. Il arrive souvent que les faces de l'octaèdre sont fort agrandies par rapport aux autres, et que le solide se présente comme fig. 246. On voit également ici que les arêtes de l'octaèdre ne sont pas toutes de même espèce, puisque les modifications se réduisent à deux à chaque sommet.

245. 246.

§ 46. **Dimorphisme et isomorphisme.** — Il résulte nécessairement, de ce que nous venons de voir, que les formes cristallines doivent offrir un puissant moyen de distinction dans les corps bruts qui en sont susceptibles ; les uns appartenant alors à un système déterminé, les autres à un système différent ; tous offrant d'ailleurs des dimensions relatives particulières dans les formes primitives qu'il faut adopter pour les représenter.

Cependant il existe deux phénomènes qui restreignent beaucoup l'importance de ces formes : ce sont ceux qu'on désigne sous les noms de *dimorphisme* et d'*isomorphisme*.

Le *dimorphisme* est la faculté que possèdent des substances, identiques par leur nature, de cristalliser sous des formes qui appartiennent à des systèmes différents. Il en existe aujourd'hui plu-

(1) Le dodécaèdre pentagonal de la géométrie a toutes ses faces inclinées entre celles de 116° 33' 52" ; tous les angles plans sont de 108°. Dans le dodécaèdre pentagonal naturel, il y a deux angles plans de 106° 37', deux de 102° 38', et un de 121° 30'.

sieurs exemples; mais le plus anciennement connu est fourni par la pierre calcaire, qui, d'un côté, cristallise dans le système rhomboédrique, où elle forme le *spath d'Islande*, et l'autre, dans le système prismatique rectangulaire droit, où elle forme ce qu'on nomme l'*aragonite* Ces variations de systèmes entraînent le changement de toutes les autres propriétés physiques de la substance : la dureté, le poids spécifique, les caractères optiques, etc.

L'*isomorphisme* consiste en ce que des corps de diverse nature affectent souvent la même forme, ou du moins des formes du même genre, qui ne diffèrent que par les dimensions relatives de leurs diverses parties. Cette propriété, qu'on avait d'abord crue restreinte au système cubique, et qu'on reconnaît maintenant dans tous les autres, tient à ce que certains corps simples, avec des caractères particuliers qui les distinguent, ont aussi des propriétés communes qui les rapprochent; et entre autres celle de donner la même forme aux composés d'un même ordre qu'ils peuvent former avec des corps déterminés, § 122. C'est ainsi que le soufre et le sélénium produisent des corps identiques par la forme, en se combinant avec le plomb, l'argent, le zinc, etc.; que les oxydes de fer, de manganèse, de chrome, d'aluminium, etc., présentent une série de corps identiques à tel degré d'oxydation, une autre série à un degré différent, et qu'en se combinant avec un acide, ils constituent aussi des sels qui se ressemblent complétement sous ce rapport.

Causes des variations des formes dans chaque système, et des changements de système.

§ 47. **Variation dans un même système.** — S'il est évident que dans chaque système cristallin il peut exister des formes très variées, on se demande naturellement comment il se fait qu'un même corps, en cristallisant, puisse prendre tantôt une de ces formes, tantôt l'autre. Cette question m'a conduit autrefois à faire beaucoup de recherches sur les sels qu'on peut dissoudre et faire cristalliser à volonté. J'en ai tiré ce fait général, que ces variations dépendent de la nature du liquide qui sert de dissolvant, des matières qu'il peut renfermer en même temps que celles qui cristallisent et de la température. En voici des exemples.

Résultats de laboratoire. — L'alun du commerce, épuré par plusieurs cristallisations successives, finit par donner, dans l'eau pure, des octaèdres très nets, et complets dans toutes leurs parties. Mais si à une telle solution on ajoute quelque autre sel, quelque acide ou quelque base, on obtient des cristaux modifiés ou même

entièrement différents. Avec l'acide azotique, les quatre angles solides de l'octaèdre sont chacun remplacés par une face. Avec l'acide chlorhydrique, on obtient les facettes qui conduisent à l'icosaèdre. L'acide borique détermine la formation de cristaux cubiques; quelques gouttes de carbonate de potasse ou d'ammoniaque, ou même un carbonate en poudre agité dans la liqueur, produisent le même résultat. Une solution saturée à 100° ne produit en refroidissant que des cristaux octaèdres; mais saturés en vase clos à des températures plus élevées, elle donne lieu à des dodécaèdres rhomboïdaux et à des trapézoèdres.

On peut donc obtenir de l'alun sous des formes très variées, qui tiennent entièrement aux circonstances dans lesquelles ce corps a cristallisé. Tous les autres sels présentent des modifications analogues quand on fait convenablement varier la nature du liquide et la température.

Circonstances analogues dans les minéraux. — Les cristaux naturels présentent des variations qui semblent indiquer des circonstances analogues à celles que nous venons de citer. En effet, les formes d'un même minéral sont différentes suivant la nature des substances qui l'accompagnent, et par conséquent avec lesquelles il a cristallisé, à tel point que depuis longtemps les minéralogistes reconnaissent les localités de certains minéraux par les formes seules qu'ils présentent. C'est ainsi qu'ils distinguent le calcaire cristallisé du Harz de celui du Derbyshire; les cristaux de cette substance qui proviennent des montagnes calcaires de ceux des filons ou des différents gîtes métallifères; le minerai de fer cristallisé de l'île d'Elbe de celui de Framont, dans les Vosges; l'aragonite des mines de fer de celle des argiles salifères, etc.

§ 48. **Changement de système.** — Le dimorphisme paraît tenir également aux circonstances extérieures dans lesquelles se fait la cristallisation. Ainsi le soufre dissous dans le carbure de soufre donne, par l'évaporation, des cristaux en octaèdre rhomboïdal droit; mais le soufre fondu cristallise, par refroidissement, dans le système prismatique oblique. Le cuivre, précipité d'une solution saline sur une lame de fer, offre des cristaux du système cubique, et le cuivre fondu cristallise dans le système rectangulaire. Le sel commun, qui dans l'eau cristallise en cube, m'a paru donner, par la fusion, des octaèdres rhomboïdaux; mais la masse se remplit bientôt de fissures parallèles aux faces du cube. Des solutions saturées de certains sels peu cristallisables, dans lesquelles on en fait ensuite dissoudre un qui cristallise promptement, forcent ce dernier à prendre les formes qui conviennent à l'autre.

Il est à remarquer que, sous les formes extraordinaires qu'une substance est ainsi susceptible d'admettre, l'arrangement ne se trouve pas à un état d'équilibre stable; ainsi les sels qu'on a forcés de cristalliser sous une forme qu'ils ne prennent pas ordinairement, tombent très promptement en poussière; les matières fondues qui n'ont pas un très haut degré de cohésion se remplissent promptement de fissures, qui indiquent un changement intérieur de cristallisation ; ce qu'on remarque dans le sel commun et le soufre fondus. L'aragonite ne résiste pas à la chaleur rouge, comme le spath d'Islande, car à peine est-elle chauffée qu'elle se boursoufle et se désagrège. Il suffit souvent d'une élévation de température pour changer toute la structure intérieure d'un corps sans même qu'aucune variation se manifeste au-dehors; ce qu'on remarque, par exemple, en chauffant des cristaux de sulfate de zinc, etc. On ne s'aperçoit de ces changements que par des fissures régulières intérieures, ou par les variations des propriétés optiques.

§ 49. **Observations sur l'isomorphisme.** — L'isomorphisme a souvent aussi quelque chose qui tient aux circonstances extérieures: c'est ce qui a lieu dans les sels qui renferment de l'eau dans leur composition. La quantité de ce liquide varie en général suivant la température à laquelle la cristallisation se fait, et une quantité déterminée se combine pour un sel à une température fixe, et pour un autre à une température différente. Or, il n'y a isomorphisme que pour des compositions identiques; par conséquent deux sels hydratés sont ou ne sont pas isomorphes, suivant qu'ils ont cristallisé ou non à la température qui convient à chacun d'eux. La présence d'un autre sel dans la solution facilite souvent la combinaison de l'eau dans des porportions déterminées : c'est ainsi que le sulfate de cuivre, lorsque la solution renferme du sulfate de fer, prend la forme de ce dernier, et par conséquent une quantité d'eau différente de celle qu'il contient ordinairement.

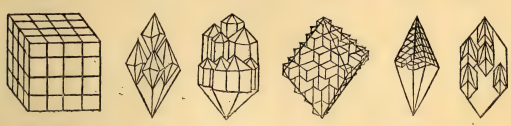
Cristaux groupés.

§ 50. **Groupes divers.** — Les cristaux sont quelquefois isolés, mais le plus souvent ils sont groupés entre eux de diverses manières, tantôt régulièrement, tantôt au hasard.

Les groupes sont réguliers toutes les fois que les cristaux se réunissent par leurs faces homologues : il en résulte des cristaux plus volumineux, tantôt de même forme que les petits cristaux composants, tantôt complétement différents. C'est ainsi que de petits cristaux cubiques, scalénoèdres, prismatiques pyramidés, etc.,

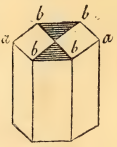
constituent de gros cristaux de même espèce, fig. 247 à 249, ou bien des cristaux très différents, fig. 250 à 252. La plupart des gros cristaux montrent clairement qu'ils sont ainsi formés ; souvent une de leurs parties est parfaitement nette, tandis que l'autre présente l'échafaudage grossier qui les constitue.

247. 248. 249. 250. 251. 252.



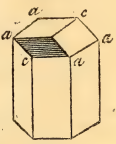
§ 51. **Groupe de prismes rhomboïdaux.** — Les prismes à bases rhombes sont très sujets à se grouper, et produisent, dans quelques substances (aragonite, céruse), des cristaux composés très remarquables.

253.



1° Deux prismes se réunissent par les arêtes latérales, fig. 253, et l'intervalle se remplit par des demi-prismes de la même espèce ; d'où résulte un groupe hexagone qui a deux angles opposés *a* d'une espèce, et quatre angles *b* d'une autre.

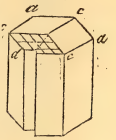
254.



2° Deux prismes s'accolent par les faces, fig. 254, et l'intervalle se remplit par un prisme dérivé du premier, d'où résulte un autre prisme hexagone qui a quatre angles *a* de l'espèce précédente, et deux angles *c* d'une autre espèce.

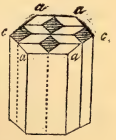
Quelquefois l'intervalle se remplit de petits cristaux de même espèce qui viennent se presser sur une ligne moyenne, et laissent entre eux un angle rentrant, *d* fig. 255 ; d'où résulte un prisme qui a deux angles de l'espèce *a*, et trois de l'espèce *c*.

255.



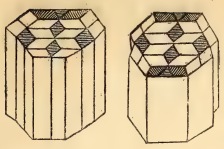
3° Il arrive souvent aussi que les prismes se réunissent d'une manière encore plus compliquée, comme fig. 256, où l'on voit deux des groupes fig. 254, et quatre cristaux en dehors, qui laissent entre eux des intervalles remplis par des prismes dérivés. Le prisme résultant a quatre angles de l'espèce *a* et deux de l'espèce *c*. Quelquefois ce sont les groupes fig. 255, qui se réunissent, et l'ensemble, fig. 257, présente deux angles rentrants.

256.

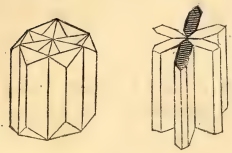


257.

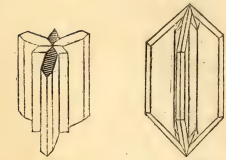
258. 259.



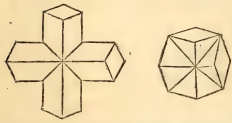
260. 261.



262. 263.



264. 265.



4° Autour du groupe précédent il se réunit souvent encore des cristaux, soit d'un seul côté, fig. 258, soit des deux à la fois, fig. 259; dans l'un et l'autre cas l'ensemble prismatique offre des angles rentrants. Il se fait enfin des groupements tellement compliqués qu'on ne peut plus les décrire.

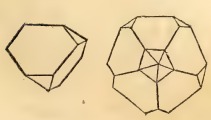
Dans ces divers cas les prismes réunis sont tantôt simples à leurs sommets, tantôt modifiés de diverses manières. Dans le premier, les groupes résultants ont des bases assez nettement terminées, quoique striées dans différents sens. Dans le second, les modifications des prismes élémentaires se dessinent en creux et en relief sur les bases du groupe, fig. 260.

5° Les prismes élémentaires qui se réunissent sont quelquefois modifiés profondément sur les arêtes latérales; il en résulte la configuration fig. 261, si tous les prismes ont la même étendue, ou fig. 262, si trois d'entre eux restent très petits. Lorsque les prismes sont modifiés à leurs sommets, il en résulte une sorte de carcasse de prisme pyramidé, fig. 263.

6° Les prismes rhomboïdaux se réunissent quelquefois aussi par les modifications de leurs sommets; c'est ainsi que dans la *staurotide* il s'en réunit quatre pour former une croix rectangulaire, fig. 264 ou 265. On trouve des choses analogues dans les prismes carrés ou rectangulaires.

§ 52. **Groupes d'octaèdres.** — Les octaèdres, en se réunissant, produisent aussi des groupes de divers genres : par exemple, certains octaèdres, déformés par l'élargissement de quelques unes de leurs faces, fig. 266, pourraient, en se réunissant, produire un groupe complet, fig. 267, qui présente une double pyramide pentagonale, creusée au sommet, et avec des angles rentrants sur ses angles latéraux.

266. 267.



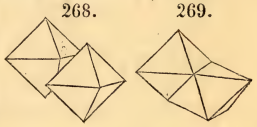
Cette pyramide n'est complète et régulière que dans le cas où les faces par lesquelles les octaèdres se groupent sont inclinées entre elles de 72° : pour des angles plus petits, jusqu'à 60°, il reste un vide qui se remplit irrégulièrement ; pour des angles plus grands, il ne peut se réunir que quatre cristaux, qui laissent un vide entre eux tant qu'ils n'atteignent pas l'inclinaison de 90°.

Transposition, hémitropie.

§ 53. **Dans les octaèdres.** — Il y a des groupements qui se font entre deux cristaux avec des circonstances particulières ; les choses se passent comme si un cristal unique avait été coupé en deux, et qu'une moitié eût fait un sixième de révolution, ou même une demi-révolution sur l'autre : c'est ce qu'on nomme *transposition* pour le premier cas, et *hémitropie* (moitié de révolution) pour le second. Ces sortes de groupements prennent fréquemment le nom de *macles*, qu'on donne souvent aussi aux groupes précédents.

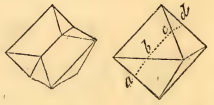
Si deux octaèdres se réunissaient, comme fig. 268, les faces de l'un se trouveraient sur des plans parallèles à celles de l'autre, et les sommets déborderaient. Il n'y a de régularité qu'autant que les arêtes de même espèce coïncident entre elles, comme fig. 269, et dès lors il faut que l'un des solides fasse un mouvement de 60° sur l'autre, c'est-à-dire d'un sixième de circonférence : il y a alors une transposition.

268. 269.



Si les deux octaèdres conservaient toutes leurs faces bien proportionnées, on reconnaîtrait immédiatement qu'il y a groupement ; mais il arrive que le plan de jonction s'étend considérablement (1), et le groupe se présente comme fig. 271. C'est alors qu'on reconnaît que les choses se passent comme si le cristal, fig. 272, avait été coupé, entre deux faces opposées, par un plan parallèle, *a b c d*, et qu'une moitié eût tourné sur l'autre.

271. 272.



(1) Cette extension tient à l'accroissement qui se fait après la première réunion des deux petits solides. Par exemple, si deux petits cristaux *a* et *b*, fig. 270, se réunissent par le sommet, le plan de jonction sera un point mathématique. Mais si le groupe s'accroît par des couches qui l'enveloppent de toutes parts, le plan de jonction s'étendra successivement, et l'ensemble prendra une forme où l'on ne reconnaîtra plus les formes composantes.

270.

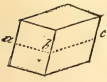
273. 274.

275. 276.

277. 278.

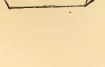
279. 280.

281. 282.



283. 284. 285.

286. 287.



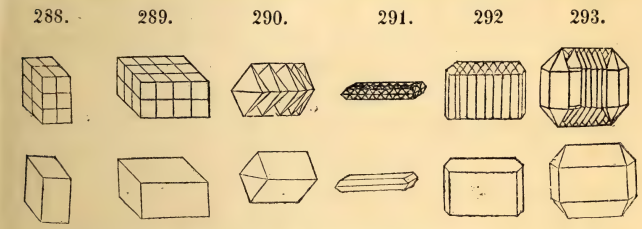
§ 54. **Groupes de rhomboèdres et de scalénoèdres.** — Dans tous les systèmes de cristallisation, on trouve diverses sortes de groupements analogues, mais les rhomboèdres, les scalénoèdres, etc., en offrent de particuliers. Ils se réunissent souvent deux à deux par des plans perpendiculaires à l'axe, fig. 273, 274; et les plans de jonction étant très étendus, les groupes se présentent comme fig. 275, 276. Les choses se passent alors comme si les solides complets, fig. 277, 278, avaient été coupés par un plan *a b c d*, perpendiculaire à l'axe, et qu'une des parties eût tourné d'un sixième de circonférence sur l'autre.

Lorsque les réunions se font par des plans obliques ou parallèles à l'axe, il y a demi-révolution. Ainsi, les prismes obliques, les rhomboèdres, réunis par leurs faces, ou par des faces produites sur les arêtes, donnent des groupes, fig. 279, 280, où, par suite de l'extension du plan de jonction, les choses se passent comme si les solides, fig. 281 et 282, avaient été coupés par les plans *a b c*, et qu'une moitié eût fait une demi-révolution sur l'autre.

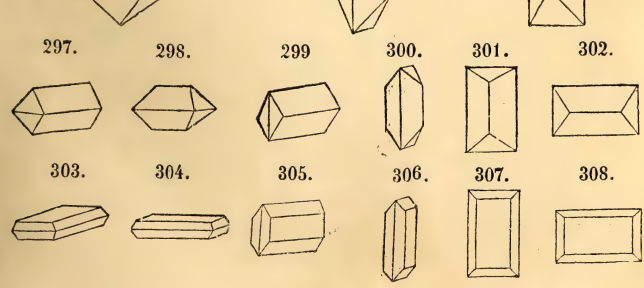
§ 55. **Groupes de prismes.** — Les prismes divers se groupent souvent aussi en sens inverse, par exemple, fig. 283; mais, par suite de l'extension du plan de jonction, le groupe se présente comme fig. 284, et les choses se passent comme si un cristal, fig. 285, avait été coupé par un plan *a b c d*, et qu'une moitié eût fait une demi-révolution sur l'autre. C'est la même chose dans le groupe fig. 286, qui provient du solide fig. 287.

Cristaux déformés et oblitérés.

§ 56. **Cristaux élargis ou allongés.** — Il arrive souvent que les groupements de petits cristaux s'étendent plus d'un côté que d'un autre, et dès lors le cristal résultant prend aussi plus d'extension par certaines faces que par d'autres. C'est ainsi que des cubes peuvent se grouper de manière que le solide prenne l'apparence d'un prisme carré ou rectangulaire, fig. 288 ou 289 ; que des octaèdres, simples ou basés, s'allongent dans un sens ou dans l'autre, fig. 290 et 291 ; que des prismes, simples ou pyramidés, se présentent comme des plaques, fig. 292 ou 293, simples ou modifiées. Des cristaux prismatiques s'allongent de même en se plaçant les uns au bout des autres de manière à prendre la forme capillaire, etc.



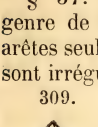
C'est toujours par des groupements que les cristaux s'allongent ou s'élargissent, comme par exemple les octaèdres fig. 294 à 296, qui se modifient comme fig. 297 et 298, 299 et 300, 301 et 302. Les configurations tabulaires, fig. 303 à 308, ne sont encore que ces



mêmes cristaux élargis et modifiés sur les arêtes et les angles, comme quand ils sont régulièrement proportionnés. Ces variations des mêmes formes, ainsi que les cristaux tabulaires qui s'y rattachent, se trouvent principalement dans les systèmes prismatiques, et surtout dans les octaèdres qui en dérivent.

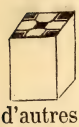
§ 57. **Cristaux à faces creuses.** — Il existe aussi un autre genre de difformité dans les cristaux : souvent il arrive que les arêtes seules sont nettement constituées, fig. 309, et que les faces sont irrégulières, creusées même jusqu'au centre du solide. Cet effet se produit souvent dans nos laboratoires, lorsque des solutions très concentrées cristallisent avec rapidité. On l'obtient constamment aussi en faisant cristalliser une solution concentrée dans une matière pulvérulente un peu lourde. C'est probablement de cette dernière manière que la chose a lieu dans la nature ; car tous les cristaux qui offrent cette particularité se trouvent au milieu des sables et des argiles, où ils se sont évidemment formés.

309.



§ 58. **Macle de Bretagne.** — Si la matière pulvérulente au milieu de laquelle la cristallisation a lieu est légère, elle est enveloppée dans l'intérieur du cristal et se place géométriquement dans des directions qui dépendent de la forme du polyèdre. C'est aussi ce qu'on voit dans plusieurs substances naturelles formées au milieu de certains dépôts. Une des plus remarquables est celle qu'on a désignée sous le nom de *macle*, fig. 310, et qu'on a trouvée d'abord en Bretagne, au milieu de ce qu'on nomme les schistes micacés. La matière noire de ces schistes s'est placée au centre du cristal, ou bien vers les angles, et aussi suivant les diagonales. Il y a beaucoup d'autres matières qui sont dans le même cas, telles que le *grenat*, l'*amphigène*, la *trémolite*, etc.

310.



§ 59. **Cristaux arrondis.** — Il arrive souvent aussi que les cristaux sont oblitérés; que leurs faces, leurs arêtes, leurs angles, s'arrondissent et n'offrent plus cette régularité sous laquelle nous les avons jusqu'à présent étudiés. Les prismes hexagones ou octogones, dodécagones, présentent des configurations *cylindroïdes*, fig. 311, chargées, sur la longueur, de stries, parmi lesquelles on remarque çà et là quelques plans unis qui semblent indiquer que c'est à la multiplicité des facettes qu'on doit ce résultat.

311.

* Les dodécaèdres romboïdaux, les trapézoèdres, etc., produisent

fréquemment des configurations *sphéroïdes*, fig. 312 à 314, dont le diamant et le grenat nous présentent surtout des exemples : presque toujours les faces et les arêtes de ces corps sont plus ou moins bombées et curvilignes.

312. 313. 314.

Les rhomboèdres obtus, certains octaèdres aplatis, en général les solides surbaissés, prennent en se déformant des configurations *lenticulaires ;* les scalénoèdres ou les différents dodécaèdres prennent des configurations *séminiformes*, *doliformes*, etc., fig. 315 à 317 : les calcaires surtout nous en offrent de fréquents exemples. En général il existe une multitude de ces formes arrondies dans toutes les espèces de cristaux.

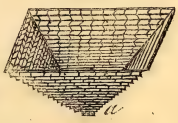
315. 316. 317.

§ 60. Les oblitérations paraissent assez souvent dues à la multiplicité des facettes sur les angles solides ou sur les arêtes ; mais il paraît aussi y avoir d'autres causes. Dans nos laboratoires il faut, pour obtenir des cristaux réguliers, que la solution soit concentrée à point et que la liqueur n'éprouve aucun trouble de la part des agents extérieurs ; autrement tous les cristaux s'accumulent les uns sur les autres, et il en résulte soit une masse irrégulière, soit des cristaux élargis dans un sens ou dans l'autre. Pour que les cristaux déjà formés continuent à s'accroître régulièrement, il faut que l'évaporation se continue avec une rapidité convenable ; si le degré de concentration reste stationnaire et, plus encore, si la liqueur attire l'eau d'une atmosphère humide, les cristaux formés sont attaqués : ils s'arrondissent alors sur les arêtes et sur les angles, et deviennent rugueux à la surface.

CONFIGURATIONS ACCIDENTELLES.

§ 61. **Trémies.** — Nous arrivons maintenant à des formes où la tendance des molécules matérielles à se réunir géométriquement est plus ou moins interrompue par des causes extérieures. La matière s'agrège alors sous des configurations irrégulières, qu'on peut regarder comme purement accidentelles relativement à celles dont nous venons de nous occuper.

318.



Parmi ces formes, nous devons compter les *trémies*, fig. 318, qui tiennent encore à la cris-

tallisation, parce qu'elles sont composées de cristaux, mais dont les circonstances étrangères règlent le groupement. Les trémies sont des pyramides creuses, composées de diverses zones de cristaux qui vont successivement en diminuant de la base au sommet. Elles se forment principalement à la surface des chaudières d'évaporation, dans les ateliers où l'on prépare les sels en grand. On voit d'abord apparaître à la surface du liquide un petit cristal, *a*, qui s'enfonce plus ou moins suivant son poids spécifique, comparativement à la densité du liquide. La partie de ce cristal qui se trouve à la surface devient un centre autour duquel il se forme d'autres petits cristaux, qui s'arrangent en forme de cadres sur les bords du premier. La masse s'enfonce alors davantage, et il se forme un nouveau cadre, puis un troisième, un quatrième, etc. Enfin il en résulte la pyramide creuse dont nous parlons, et dont l'angle dépend de la densité du liquide où elle s'est formée.

319.

C'est de la même manière que se forment certains cornets calcaires, fig. 319, à la surface des eaux chargées de carbonate de chaux, qui séjournent dans des cavités souterraines très aérées.

§ 62. **Forme par groupement. Rognons et mamelons cristallins.** — Si les cristaux se groupent souvent d'une manière régulière, il arrive fréquemment aussi qu'ils se réunissent au hasard, et donnent alors des masses arrondies, ovoïdes, noueuses, tuberculeuses, etc., fig. 320, dont la surface est hérissée de cristaux, qu'on voit se prolonger dans l'intérieur, en se déformant par leur pression mutuelle, et qui donnent lieu à une structure radiée. Quelquefois le groupement se fait à la surface des autres corps, et produit alors ce qu'on nomme la *configuration mamelonnée, cristalline*. Ces mamelons présentent quelquefois des formes lenticulaires, ce qui a lieu surtout dans le groupement de certains cristaux tabulaires (sulfate de baryte, prehnite, etc.).

320.

Les groupements en boules isolées ont probablement pour cause la résistance des milieux dans lesquels la matière cristallise. En effet, lorsque nous imbibons une matière terreuse assez légère d'une solution saline concentrée, il s'y forme soit des cristaux isolés, soit des groupes sphéroïdaux de cristaux. Les groupes naturels paraissent être formés de même, car on les trouve toujours isolés dans des matières terreuses.

Dendrites. — Les *dendrites* sont aussi des groupements irrégu-

liers de cristaux (argent, cuivre, etc.) : il en est qui sont saillantes de toutes parts, fig. 321 ; d'autres où les cristaux étendus à la surface des autres corps se dessinent légèrement en relief, comme la glace à la surface des vitres pendant l'hiver.

321.

C'est probablement de la même manière que se forment certains dessins dendritiques, ou *herborisations*, ordinairement noirs, ou jaunâtres, qui n'ont pas d'épaisseur sensible, et qu'on trouve le plus souvent entre les feuillets de diverses matières, ou dans des fissures très étroites, dont les parties viennent à se détacher. Quelquefois ces dendrites pénètrent dans tout l'intérieur de la masse des corps, et c'est alors qu'on les a désignés sous le nom de *dendrites profondes*, en donnant aux autres, par opposition, le nom de *dendrites superficielles*. On nomme configurations *spiculaires* des variétés de dendrites formées par des cristaux aigus, qui appartiennent la plupart au groupe rhomboédrique.

322.

Configuration coralloïde. — Ces dispositions ne sont encore que des dendrites d'une nouvelle espèce : elles sont produites par la réunion de petits cristaux capillaires qui se disposent comme autour d'un axe, et dont il résulte des espèces de rameaux arrondis, entrelacés de toutes les manières, qu'on peut comparer aux branches du corail, tant par leur forme que par la manière dont ils s'anastomosent. Ces dispositions, fig. 322, se forment ordinairement sur les parois latérales ou inférieures des cavités souterraines.

Les configurations dendritiques se manifestent souvent dans nos laboratoires par la fusion et par la volatilisation. Dans les solutions aqueuses peu concentrées, et dont une atmosphère humide retarde l'évaporation, ou même apporte constamment de nouvelle eau, on voit les sels grimper sur les parois des vases par un effet d'action capillaire ; ils y forment alors des végétations cristallines, qui se ramifient de diverses manières, surtout lorsque la substance, parvenue au haut du vase, commence à se porter au-dehors. Les cristaux sont alors plus ou moins déformés, et leurs groupements se rapprochent surtout des configurations coralloïdes.

§ 63. **Résultats du mouvement des eaux.** — Le mouvement imprimé au liquide au moment de la consolidation des matières qu'il tient en solution, détruit complétement la cristallisation, et

produit des formes qui en sont indépendantes : c'est ce qui a lieu dans les *stalactites* et dans les *pisolites*.

Stalactites. — La stalactite est une masse configurée en cône plus ou moins allongé, tantôt pleine, tantôt creuse à l'intérieur, et dont la surface est lisse, onduleuse ou tuberculeuse. Elle se forme de haut en bas à la paroi supérieure des cavités souterraines par le suintement des eaux chargées de matières en solution. Les premières gouttelettes *a*, qui arrivent à la voûte de la cavité, fig. 323, laissent, en s'évaporant, un petit anneau de matière solide, qui s'accroît par les gouttelettes suivantes, et forme bientôt un tube mince. Les parois de ce tube se couvrent de nouvelles matières à mesure que le liquide passe sur elles; mais l'intérieur, dont l'espace est limité, se remplit promptement, et l'extérieur seul prend de l'accroissement : il en prend davantage à la partie supérieure, où le liquide commence toujours par déposer avant d'arriver plus bas, et de là la forme conique de la masse après quelque temps.

323.

Les gouttes qui tombent de la stalactite, n'étant pas entièrement privées de particules matérielles, forment encore sur le sol un autre dépôt qu'on nomme *stalagmite*. Celui-ci s'accroît surtout sous la verticale, et il en résulte une protubérance qui finit souvent par se joindre à la stalactite : de là des colonnes qui semblent placées tout exprès pour soutenir la voûte.

Les suintements sur les parois latérales donnent lieu à des dépôts saillants, isolés, en nappes ondulées, festonnées et plissées de toutes les manières, qui représentent des draperies : c'est par suite de ces dispositions qu'on leur a donné le nom de *panniformes*.

Ces différents effets se manifestent surtout en grand dans les cavernes, ou grottes, des montagnes calcaires, qui attirent partout l'attention des curieux.

Pisolites. — Les pisolites sont des globules isolés, formés de couches concentriques, qui sont produits par des eaux chargées de matières en solution, et douées d'un mouvement capable de soulever continuellement les grains de sable déposés sur leur passage. Chacun de ces grains se recouvre alors de pellicules successives de la matière dissoute, fig. 324, et s'accroît en prenant la forme sphéroïde, jusqu'à ce que, devenu trop lourd pour être mis en mouvement, il tombe au fond du liquide, où plus tard toute la

324.

masse se trouve agglutinée; ce phénomène se présente habituellement aux eaux de Vichy en Auvergne, de Karlsbad en Bohême, de Saint-Philippe en Toscane, etc. Fréquemment chaque pisolite a pour centre un grain de matière étrangère; mais ce grain initial peut être tout aussi bien une particule même de la substance préalablement formée.

Cailloux roulés. — Les eaux en mouvement produisent aussi sur les matières qu'elles arrachent aux montagnes, et qu'elles charrient, un *grenaillement* qui les arrondit; de là l'origine des cailloux roulés, sous la forme desquels un grand nombre de substances se présentent : circonstance qu'il ne faut confondre ni avec les pisolites ni avec les cristaux arrondis dont nous avons parlé § 59.

§ 64. **Résistance des milieux. Bombes volcaniques.** — La résistance des milieux dans lesquels les matières se consolident conduit aussi à des formes arrondies, noueuses, tuberculeuses, etc., quelquefois capillaires. C'est ainsi que les matières volcaniques, en coulant sur la pente des montagnes, y forment des espèces de stalactites et des scories torses : les portions de matières fondues lancées dans les airs y prennent des formes arrondies, qu'on a nommées *bombes volcaniques;* et quelquefois, lorsqu'elles sont à l'état de fusion complète, elles s'y divisent en une multitude de filaments capillaires (verre capillaire de l'île Bourbon).

Rognons simples. — Les substances qui se consolident au milieu des matières molles doivent aussi à la résistance de celles-ci des configurations réniformes, qui sont lisses à la surface lorsque la matière ne cristallise pas, et hérissées de cristaux lorsqu'elle possède cette propriété. Le premier cas se fait remarquer, par exemple, dans les *silex de la craie;* le second dans beaucoup de matières diverses, comme dans les groupements en boule que nous avons cités § 62.

Géodes. — Quelquefois les rognons de silex, comme aussi de plusieurs autres matières, sont creux à l'intérieur, et on leur donne le nom de *géodes*. La cavité est assez souvent tapissée de cristaux ou de stalactites, ou remplie de matière pulvérulente; celle-ci, en se desséchant, subit souvent un retrait qui la sépare des parois de la cavité, où dès lors elle peut remuer : c'est ce qu'on a remarqué surtout dans certains minerais de fer, dont les rognons ont été nommés *pierres d'aigle*.

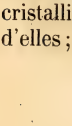
§ 65. **Filets capillaires.** — Si les cristaux, en s'allongeant considérablement, peuvent devenir capillaires, il existe aussi des filaments qui ne présentent aucune régularité et qui se forment accidentellement. D'abord on trouve des filets métalliques dans les

cellules de certaines scories de nos usines, et l'on peut en expliquer facilement la présence. Ces scories sont des matières vitreuses qui, se consolidant plus vite que les globules métalliques liquides qu'elles renferment, et diminuant alors de volume, pressent fortement sur le métal et le forcent à s'échapper dans les cellules vides voisines, à travers les pores qui se sont formés, et par lesquels il est configuré en filaments. C'est probablement ainsi que se sont formés les filaments d'argent et de cuivre, de sulfure d'argent, etc., qu'on trouve dans le sein de la terre.

Il se fait aussi quelque chose d'analogue par la voie humide. Si une solution se trouve enfermée dans un vase poreux, il se forme bientôt à la surface extérieure une multitude de petits filaments de la matière dissoute. Dans ce cas, on conçoit qu'il arrive par chacun des pores une gouttelette liquide qui dépose une molécule de matière en s'évaporant; une autre gouttelette dépose une nouvelle molécule sous la première, qui est alors poussée en avant, etc., et de cette manière il se forme bientôt un filet de plus en plus long. On reconnaît que c'est bien par la partie inférieure que ce filet s'accroît, en colorant son extrémité au moment où il commence à paraître. Le sel marin, la pierre à plâtre, la pierre calcaire, etc., nous offrent des filaments qui ont été évidemment produits de cette manière.

§ 66. **Formes par agglutination.** — Lorsqu'un liquide chargé de matière en solution vient à passer ou à séjourner dans des dépôts de matières meubles, il en consolide souvent une partie plus ou moins considérable, sous des configurations stalactiques, réniformes, ou même sous les formes cristallines propres à la substance qu'il renferme. Le plus bel exemple de cette circonstance est celui que nous offrent les sables qui font partie des grès de Fontainebleau, ou des environs d'Apt en Provence. Des eaux chargées de carbonate de chaux, en s'infiltrant dans ces sables, les agglutinent de diverses manières, et fréquemment sous la forme de rhomboèdres aigus, fig. 325, quelquefois isolés, et le plus souvent groupés les uns sur les autres. Ce qui prouve que c'est bien à cette substance que la configuration est due, c'est que par l'action de l'acide azotique tout le calcaire est enlevé, et que le sable reprend la forme pulvérulente. Beaucoup d'autres matières, telles que des argiles ferrugineuses, des oxydes de fer, certaines matières vertes nommées *chlorites*, ont de même été fréquemment entraînées par la cristallisation de diverses substances qui se sont formées au milieu d'elles; mais le plus souvent alors c'est la matière cristalline qui

325.



domine, tandis que dans l'exemple précédent la matière calcaire ne va quelquefois pas à vingt pour cent.

§ 67. **Formes par incrustation.** — Les eaux chargées de matières en solution déposent souvent sur les plantes, les animaux, les pierres, qui se trouvent sur leur passage, une couche solide plus ou moins épaisse, qui en conserve grossièrement la forme extérieure : c'est ce qui a lieu fréquemment par les eaux qui sourdent des montagnes calcaires, et qui sont chargées de carbonate de chaux. Plusieurs sources, en France et ailleurs, se trouvant à la portée des routes, sont particulièrement renommées pour ces effets, et les paysans ont soin d'y placer des nids d'oiseaux, de petits paniers de fruits, etc., qui s'incrustent très promptement, et qu'ils vendent aux curieux sous le nom fort impropre de pétrifications. On a profité d'une autre manière de ces eaux incrustantes aux bains de Saint-Philippe, en Toscane, en les faisant jaillir sur des moules exécutés avec soin. La matière calcaire, qui est ici très pure et très blanche, se dépose dans ces moules, en reçoit l'empreinte, et présente des bas-reliefs très nets de véritable marbre.

On trouve fréquemment aussi des incrustations purement cristallines. Ce sont de petits cristaux symétriquement arrangés à la surface d'autres corps cristallisés, qu'ils recouvrent en totalité. Souvent les substances qui ont servi de support se trouvent accidentellement enlevées, et il ne reste que des carcasses creuses formées par la matière qui les a incrustées.

§ 68. **Formes par moulage.** — Dans un grand nombre de cas, les formes que présentent les matières brutes sont le résultat d'un moulage dans des cavités préexistantes. Ici, ce sont des cavités produites par la destruction de certains cristaux, et remplies après coup de matières étrangères, qui offrent alors la configuration régulière d'autres minéraux; là, ce sont des cellules arrondies, remplies en tout ou en partie d'une matière ou d'une autre, qui présentent encore les configurations réniformes, amygdaloïdes, etc.; ailleurs, ce sont les cavités des corps organisés enfouis dans le sein de la terre, tels que diverses espèces de coquilles, fig. 326 à 329, des échinides, fig. 330, etc.

326. 327. 328. 329. 330.

§ 69. **Epigénie.** — Il y a aussi des formes qui résultent de la

substitution d'une substance à une autre par une opération chimique, et qu'on nomme plus particulièrement *épigénie*. Or certains faits que présentent les usages ordinaires, et d'autres que nous pouvons produire dans nos laboratoires, conduisent à concevoir ceux que nous offre la nature, quoiqu'ici le principe réel nous soit souvent caché. Par exemple, les pièces d'argent qui ont séjourné longtemps dans les fosses d'aisances sont converties en sulfure d'argent, sans avoir perdu leur forme; un cristal de carbonate ou d'acétate de plomb, exposé pendant un temps suffisant dans une atmosphère d'hydrogène sulfuré, se trouve converti en sulfure de plomb, qui conserve la forme première; un cristal de sulfate de potasse, placé dans de la craie entretenue à un état légèrement humide, se convertit en sulfate de chaux, etc.

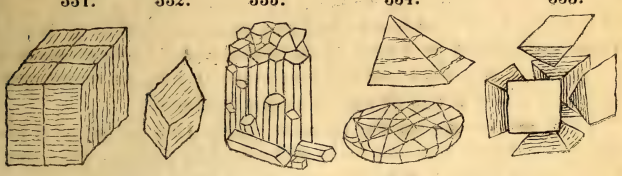
Il se fait des choses analogues dans la nature : des cristaux de carbonate, de sulfate, de phosphate de plomb, sont convertis en sulfure sans perdre leur forme; des cristaux d'oxyde de cuivre sont convertis en carbonate vert; des cristaux de sulfure de fer en peroxyde hydraté; des cristaux de carbonate et de sulfate de chaux en silice, etc.; par conséquent un grand nombre de substances offrent ainsi des formes qui ne leur appartiennent pas.

Véritables pétrifications. — C'est sans doute aussi par des substitutions analogues que le test des coquilles et les madrépores, qui sont de nature calcaire, certains animaux mous, les bois de diverses espèces, ont été convertis en silice dans le sein de la terre. La matière présente alors non seulement la forme du corps, mais aussi tout son tissu intérieur, jusque dans ses parties les plus délicates; en sorte que les bois, par exemple, ont conservé toute la structure ligneuse, et, à la simple vue, pourraient être pris pour des bois à l'état naturel : c'est là ce qui distingue la véritable pétrification des matières incrustées ou moulées, auxquelles on donne improprement ce nom, § 67 et 68.

§ 70. **Formes par retrait.** — Il n'est personne qui n'ait vu les matières pâteuses se gercer, se fendre dans toutes les directions en se desséchant : c'est l'effet du retrait des particules sur elles-mêmes à mesure que l'eau s'échappe. Un grand nombre de matières exposées au feu présentent le même résultat, et les matières fondues, peu conductrices de la chaleur, produisent le même effet en se refroidissant.

On trouve beaucoup d'exemples de semblables phénomènes parmi les matières naturelles, qui se sont divisées, quelquefois sur une grande échelle (voyez les basaltes dans la géologie), en parties polyédriques de diverses formes : il y a des espèces de parallélipi-

pèdes droits ou obliques, fig. 331, 332 ; des prismes triangulaires, pentagones, hexagones, etc., fig. 333; des pyramides triangulaires, quadrangulaires, etc., fig. 334, qui quelquefois se réunissent vers un centre d'où le retrait semble avoir eu lieu, fig. 335.



336.

Ce sont ces retraits, opérés dans des espèces de rognons terreux, qui ont produit ce qu'on nomme *ludus helmontii*, fig. 336. Les vides occasionnés par les fentes se trouvent alors remplis par une matière étrangère plus ou moins dure, qui fait souvent saillie par suite de la destruction ou de l'usure de la matière fondamentale. Ailleurs, la matière première a été enlevée; et celle qui s'était déposée dans les fentes reste seule, en présentant alors une masse cellulaire comme un gâteau d'abeilles.

STRUCTURE DES CORPS BRUTS.

§ 71. De même qu'il y a deux sortes de formes, il existe deux sortes de structures : une *structure régulière polyédrique*, une *structure irrégulière* ou *accidentelle*.

§ 72. **Clivage.** — La structure régulière se manifeste lorsqu'on vient à briser certains cristaux : chaque fragment présente alors un petit polyèdre, et la poussière même de ces corps, considérée au microscope, est un assemblage de petits solides régulièrement terminés. C'est ainsi que le sel commun, le minerai de plomb, se brisent en petits cubes; que le fluor, le diamant, se brisent en octaèdres ; que le sulfate de baryte, la topaze, se brisent en prismes rhomboïdaux; que la pierre calcaire cristallisée, le rubis et le saphir se brisent en rhomboèdres, etc. Ces divisions naturelles des corps sont généralement désignées sous le nom de *clivage* (de l'allemand *kloben*, fendre *du bois*).

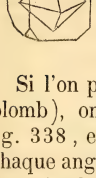
Tous les corps bruts cristallisés n'ont cependant pas cette propriété : il en est beaucoup qui ne se brisent jamais qu'en fragments irréguliers, comme le cristal de roche, le grenat, l'émeraude, etc. Dans d'autres, il n'y a que deux directions de clivage, souvent

même une seule, et par conséquent point de solide déterminé. Souvent aussi les clivages ne se manifestent que par des miroitements qu'on aperçoit à l'intérieur du cristal.

L'observation des clivages est extrêmement utile pour distinguer les différents corps qui appartiennent au même système de cristallisation. C'est ainsi que le diamant, si caractérisé d'ailleurs, ne se confondra pas avec le sel commun, quoique cristallisant dans le même système. A plus forte raison distinguera-t-on les substances de systèmes différents, lorsque les formes extérieures seront masquées ou détruites par une circonstance quelconque.

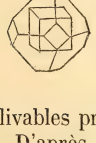
§ 73. **Noyau central des cristaux.** — Nous ne devons pas négliger d'indiquer aussi un mode particulier de clivage, qui a conduit Haüy à l'idée d'un noyau central, dans les différents cristaux qu'un même corps peut présenter. Si l'on a, par exemple, un cristal cubique de fluor, on trouve qu'il peut se cliver sur chacun des huit angles solides, d'où, avec un couteau, on peut enlever une petite pyramide, à la place de laquelle apparaît une face triangulaire, fig. 337; on peut ensuite successivement enlever des lames parallèles à chacun de ces petits plans, et l'on arrive à former un octaèdre qui se trouve comme placé au centre du cristal.

337.



Si l'on prend, au contraire, un octaèdre de galène (minerai de plomb), on remarque qu'il se clive sur les six angles solides, fig. 338, et qu'on peut également enlever des lames successives à chaque angle, ce qui conduit bientôt à un cube qui, placé au centre du cristal, semble avoir servi de point de départ. De même les scalénoèdres de carbonate de chaux (pierre calcaire) présentent trois clivages à leur sommet, fig 339, et, en enlevant des lames suivant ces trois directions, on arrive à un rhomboèdre central qui semble avoir servi de base à la cristallisation. Tous les cristaux clivables présentent des phénomènes analogues.

338.



339.

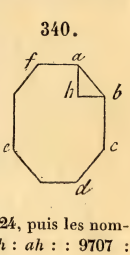
D'après ces observations, Haüy a été conduit à concevoir dans chaque substance une *forme primitive*, ou *noyau*, et à expliquer l'existence de toutes les autres, qu'il a nommées *secondaires*, par des lames décroissantes diverses appliquées sur la première, précisément comme les lames qu'on peut enlever successivement.

§ 74. *Détermination des formes primitives.* — On sent maintenant que le choix de la forme-type, ou primitive, qui doit représenter toute la cristallisation d'une substance, § 43, n'est pas indifférent. Il est naturel de prendre le solide de clivage dans les substances qui possèdent cette propriété, mais dans les corps qui ne se

clivent pas, il faudra généralement choisir la forme qui domine dans les cristaux qu'on en connaît. Ainsi, on prendra l'octaèdre régulier pour l'alun, parce que c'est la forme généralement empreinte dans la cristallisation ; tandis que, par la même raison, on prendra le dodécaèdre rhomboïdal pour le grenat, etc.

Dimensions de la forme. — La forme primitive une fois choisie, il faut en déterminer l'espèce, si elle n'appartient pas aux solides réguliers. Cette détermination repose sur les rapports de position que les différents plans de même ordre peuvent avoir entre eux dans la même substance. Par exemple, dans l'idocrase, qui appartient au prisme carré, les faces qui modifient les arêtes supérieures font successivement avec la base des angles de 166° 6', de 142° 48', de 124° 30' ; etc. Dans l'oxyde d'étain, qui est du même système, les faces analogues présentent des angles de 150° 34', de 136° 30', de 97° 40', fort différents des premiers.

340.



Maintenant, soit *abcdef* fig. 340, la coupe longitudinale du prisme carré modifié sur les arêtes des bases : *ab* sera un des plans modifiants dont nous venons d'indiquer les inclinaisons sur la base *af*. Menons la verticale *ah* et l'horizontale *bh*, nous déterminerons un triangle dont l'angle en *a* aura pour mesure l'inclinaison donnée moins 90°. Pour le premier cas, l'angle *bah* vaut 76° 6', et *abh* est dès lors de 13° 54'. Or, les sinus des angles étant comme les côtés opposés, on a

sinus *bah* (76° 6') : sinus *abh* (13° 54') : : *bh* : *ab*.

Si l'on cherche les logarithmes de ces sinus, 9,987092 et 9,380624, puis les nombres correspondants 9707 et 2402, on aura le rapport numérique *bh* : *ah* : : 9707 : 2402, ou à peu près : : 12 : 3.

La seconde inclinaison donnée, diminuée de 90°, fournit pour *bah* 52° 48', et pour *abh* 37° 12 ; d'où l'on tire *bh* : *ah* : : 7965 : 6046 : : 4 : 3.

La troisième inclinaison donne *bh* : *ah* : : 5664 : 8241 : : 4 : 6.

Les plans de modification sont fixés par ces rapports de lignes tout aussi bien que par les angles, et d'une manière qui se prête mieux à la comparaison.

On voit que les longueurs *bh* et *ah* qui sont 12 et 3, 4 et 3, 4 et 6, sont liées entre elles numériquement, et que si on prend un des rapports pour point de départ, 4 à 3, par exemple, les autres se simplifieront. On peut regarder 4 à 3 comme le rapport de la base à la hauteur de la molécule prismatique, et dire alors que le plan, dont l'inclinaison sur la base est 142° 46', est déterminé par 1 molécule en largeur et 1 molécule en hauteur ; que le plan qui fait avec la base 166° 6' est déterminé par 3 molécules en largeur et 1 molécule en hauteur, et celui qui fait avec la base 124° 30' est déterminé par 1 molécule en largeur et 3 en hauteur.

Le rapport 4 à 3 entre la base et la hauteur de la molécule caractérise donc le prisme carré de l'idocrase.

Si nous prenons les inclinaisons données par l'oxyde d'étain, nous trouverons pour les rapports successifs de *bh* à *ah*, les expressions suivantes :

$$\begin{aligned} bh : ah &: : 9430 : 3327 : : 11 \times 43 : 4 \times 41 \\ bh : ah &: : 7203 : 6883 : : \quad 43 : \quad 41 \\ bh : ah &: : 1334 : 9910 : : \quad 43 : 8 \times 41 \end{aligned}$$

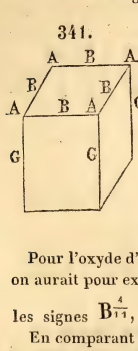
Le prisme de l'oxyde d'étain serait donc caractérisé, et distingué du premier, par le rapport 43 à 41, qui serait celui de la base à la hauteur.

Nous nous bornerons à ces observations, qui doivent faire voir comment on peut s'y prendre pour déterminer les dimensions des autres formes.

§ 75. *Signes des formes secondaires.* — Pour compléter l'idée de la cristallisation d'une substance, il ne faut plus qu'indiquer les lois suivant lesquelles se placent les

différents plans de modification, et d'où résultent toutes les formes secondaires. Pour cela, il suffit de donner les rapports des lignes par lesquelles on peut fixer ces plans : par exemple, ayant établi pour l'idocrase un prisme carré dont la base est à la hauteur dans le rapport de 4 à 3, on ajoutera que pour l'un des plans de modification les lignes de position sont de 1 hauteur de molécule et 1 largeur ; pour une autre, 1 hauteur et 3 largeurs ; pour une troisième, 2 hauteurs et 1 largeur, etc.

341.



Pour s'exprimer plus facilement, on désigne chaque espèce de partie de la forme primitive par une lettre particulière, comme fig. 341, et on place le rapport en exposant au-dessus de la lettre. Ainsi, dans le cas présent, nous indiquerions les différents plans qui se produisent sur les arêtes B par les signes $B^{\frac{1}{3}}$, $B^{\frac{1}{1}}$, $B^{\frac{1}{2}}$, etc., en convenant que le numérateur exprime toujours la hauteur. On peut même supprimer le dénominateur quand il est l'unité, et écrire plus simplement $B^{\frac{1}{3}}$, B^{1}, B^{2} etc. On indiquerait d'une manière analogue les modifications sur les autres arêtes et sur les angles solides.

Pour l'oxyde d'étain, dans lequel la base est à la hauteur dans le rapport de 43 à 41, on aurait pour expression des différentes lois de modification sur les arêtes des bases les signes $B^{\frac{4}{11}}$, B^{1}, B^{8} etc.

En comparant ces signes, on voit facilement que les lois qui régissent les modifications d'une des substances ne sont pas celles qui régissent les modifications de l'autre.

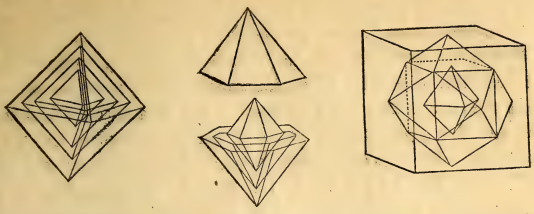
On conçoit qu'après avoir ainsi établi les lois des modifications qu'on connaît dans une substance on peut théoriquement imaginer tous les intermédiaires, et calculer d'avance les inclinaisons des faces qu'il est possible de rencontrer.

§ 76. **Structure par groupement régulier.** — Outre le clivage, il faut admettre dans les cristaux une autre forme de structure, qui tient à une agrégation régulière de cristaux plus petits. C'est ainsi que, dans les groupements que nous avons indiqués, § 50, il peut exister d'un côté le clivage dans chacun des cristaux composants, de l'autre une structure particulière qui résulte et de leurs formes et de la manière dont ils sont agrégés pour composer un tout régulier. Cette dernière structure, souvent invisible à l'œil, se manifeste dans les phénomènes optiques dont nous parlerons bientôt.

§ 77. **Structure par accroissement régulier.** — Nous avons fait observer que les cristaux s'accroissent souvent après leur première formation, § 3, soit en conservant leur forme première, fig. 342 et 343 ; soit en changeant successivement, comme fig. 344, où l'on voit d'abord un octaèdre, puis un cube, puis un dodécaèdre, qui lui-même est encore enveloppé dans un cube. Nous trouvons assez fréquemment des phénomènes de cette espèce dans la nature, et il s'en présente de semblables dans nos laboratoires, où les accroissements sans variation de formes s'obtiennent en conservant

constamment la même nature de solution saline, et les autres en faisant varier la nature du liquide dans lequel la cristallisation a lieu.

342. 343. 344.



Ces circonstances donnent lieu à des structures particulières, souvent très-compliquées, dans l'intérieur des cristaux. Quelquefois les divers accroissements peuvent se déboîter les uns des autres, comme fig. 343, lorsque la masse est brisée : c'est ce qu'on voit dans le quarz, dans le fluor, etc., et ce qu'avec un peu de précaution on peut obtenir dans l'alun, en frottant la surface des cristaux avec un corps gras aux diverses époques d'accroissement. Fréquemment les diverses couches sont à distance l'une de l'autre : c'est ce qu'on voit encore dans le quarz, et ce qui a lieu dans le salpêtre, le sulfate de soude, etc., quand leurs cristaux se forment rapidement dans une solution très concentrée. L'intervalle des couches se trouve alors rempli par le liquide.

§ 78. **Structure irrégulière, par agrégation.** — Si, en se groupant par les faces homologues, les cristaux provoquent une structure régulière dans la masse qu'ils composent, il en est autrement lorsqu'ils sont jetés pêle-mêle les uns sur les autres : la masse ne peut avoir alors qu'une structure irrégulière, comme leur réunion ; mais il y a plusieurs distinctions à faire.

1° *Structure lamellaire.* — Si les cristaux sont clivables, la masse présente dans sa fracture une multitude de petits plans dirigés dans tous les sens, et qu'on reconnaît par leur miroitement. La *structure* est alors *lamellaire*, à grandes lames, ou à petites lames, comme dans le marbre statuaire. Quelquefois les masses sont formées de paillettes peu adhérentes entre elles, et qui restent souvent aux doigts quand on les touche : c'est ce qu'on remarque dans le sulfate de chaux *niviforme*, dans certaines variétés de fer oligiste, dans les matières nommées *chlorites*, etc.

2° *Structure granulaire.* — Si les cristaux accumulés ne sont pas clivables, la masse présente la *structure granulaire*, à gros grains et à petits grains. Mais ces grains sont tantôt de véritables

cristaux déformés par leurs pressions mutuelles; tantôt des grains de sable, des cailloux roulés, agglutinés entre eux : d'où l'on distingue les structures granulaires cristallines et arénacées; c'est cette dernière que présentent les grès.

3° *Structure dendritique.* — Il arrive souvent, dans les agrégations confuses, que les cristaux composent des groupes dendritiques entremêlés les uns avec les autres; ces groupes se reconnaissent plus ou moins dans la masse, qui offre alors une *structure dendritique.* On a distingué, par des épithètes, diverses variétés qui tiennent à la disposition des dendrites, comme *tricoté*, *palmé*, *réticulé*, etc., fig. 345 à 348. La *galène*, le *bitsmuth*, le *cobalt gris*, les *micas*, etc., nous en offrent de beaux exemples.

345. 346. 347. 348.

4° *Structure fibreuse.* — Les cristaux allongés, minces, en se groupant sur leur longueur, produisent des structures bacillaires et fibreuses; mais cette dernière résulte le plus souvent de la production des filets capillaires, dont nous avons parlé § 65. Les substances qui la présentent se trouvent alors dans les fentes des matières en grandes masses; les fibres, toutes parallèles entre elles, sont perpendiculaires à la paroi d'où elles sortent, et viennent se réunir au milieu de la fente, en formant à leur rencontre un plan de jonction plus ou moins irrégulier.

Les cristaux bacillaires, ou capillaires, sont souvent divergents : c'est ce que montrent les configurations sphéroïdes ou mamelonnées, où tout se dirige au centre, et les stalactites, où tous les cristaux sont dirigés vers l'axe. Les filaments capillaires sont quelquefois aussi entrelacés ou contournés de toutes les manières, ce qu'on voit surtout dans les masses coralloïdes, § 62.

Asbeste, *amiante.* — Les filaments capillaires ont quelquefois peu d'adhérence entre eux, et se détachent facilement les uns des autres. Ils produisent fréquemment alors des masses souples, soyeuses, des masses flexibles feutrées ou des masses floconneuses. Telles sont les matières qu'on a désignées sous les noms d'*asbeste* et d'*amiante*; mais il ne faut pas croire que ce soit toujours une seule et même substance, car un grand nombre de matières pierreuses, vitreuses, métalliques, présentent les mêmes phénomènes.

5° *Structure schisteuse.* — Il arrive souvent que les cristaux en

lamelles minces, où les paillettes de mica, se déposent à plat les uns sur les autres, ou bien que de petits cristaux capillaires se couchent sur leur longueur, pour former des masses plus ou moins considérables. Ces masses se divisent alors, suivant le plan des lames ou des fibres, en feuillets plus ou moins épais : c'est ce qu'on voit dans les diverses espèces d'ardoises, qui ne sont que des réunions de paillettes disposées à plat, ou dans diverses espèces de grès et d'argiles, qui renferment des lits minces de semblables paillettes. On a désigné cette structure sous le nom de structure schisteuse, et les substances qui la présentent prennent souvent le nom de *schiste* (σχιστος, aisé à fendre).

6° *Structure compacte.* — On nomme *compactes* les substances dans lesquelles on n'aperçoit à l'œil aucune espèce de structure. Cette compacité provient souvent d'une atténuation extrême des cristaux, des grains, des fibres, qui se sont agrégés, et l'on trouve alors des passages aux variétés lamellaires, granulaires, etc. Dans d'autres cas, elle est d'une autre nature, car on ne reconnaît dans la masse aucune partie distincte, même au microscope, comme dans le verre, le cristal de roche, etc. Ailleurs, les matières compactes passent à des variétés terreuses ou gélatineuses, circonstance qui doit être encore distinguée des deux précédentes.

§ 79. **Structure irrégulière d'accroissement.** — L'accroissement ne se manifeste pas seulement dans les cristaux, où il produit une structure régulière polyédrique; il a lieu également dans les pisolites, dans les configurations réniformes non cristallines, où il détermine une structure sphéroïdale; dans les stalactites, où la structure est cylindrique ou conique; dans les stalagmites et les dépôts que les eaux forment çà et là, où elle est ondulée de diverses manières. Cette structure se manifeste souvent indépendamment des structures lamellaires, fibreuses, etc., que l'on distingue en même temps dans les corps.

§ 80. **Structure par retrait.** — Le retrait, en déterminant des divisions dans les masses minérales, y produit par cela même des structures lamellaires et fibreuses; quelquefois il donne lieu à des structures schisteuses plus ou moins distinctes, ou à des divisions en couches concentriques, analogues aux structures d'accroissement qu'on remarque dans les rognons.

§ 81. **Structure par moulage.** — Les gerçures et les fentes produites par le retrait se trouvant remplies par des matières étrangères, déterminent dans celles-ci, lorsque la première est enlevée, des structures cloisonnées en tout sens et une multitude de cavités plus ou moins irrégulières : c'est ce qui est sensible dans

certains ludus, § 70, dont la matière de remplissage présente la forme de gâteaux d'abeilles, lorsque la partie terreuse où elle s'était infiltrée a été enlevée ; c'est ce qu'on voit encore dans certaines variétés de quarz, qu'on a nommées *quarz haché*.

§ 82. **Structure cellulaire, poreuse, etc.** — Les substances gazeuses qui traversent les matières fondues, ou pâteuses, y produisent des cellules, tantôt arrondies, tantôt déchiquetées et crevées les unes dans les autres, ou des pores plus ou moins nombreux : c'est ce qu'on observe dans les scories et les matières volcaniques. Souvent les pores ou les cellules s'allongent dans le sens du mouvement de la masse fondue, et il en résulte une sorte de structure fibreuse, qu'on remarque surtout dans la ponce.

Quelques dépôts calcaires sont criblés de *tubulures* placées verticalement, qui paraissent provenir des gaz produits par la décomposition des matières organiques placées au-dessous.

Il se produit quelquefois aussi une sorte de structure cellulaire ou poreuse, par suite de la décomposition de certains cristaux, ou de petits rognons, qui laissent leur moule en creux dans les masses où ils étaient renfermés : c'est ce qui arrive souvent par la destruction des cristaux et des rognons de pyrite.

§ 83. **Structure organique.** — Nous avons dit que dans les véritables pétrifications tout le tissu organique se trouve nettement conservé. Il en résulte par conséquent dans les substances des structures qui appartiennent aux corps organisés : telles sont celles des bois, des madrépores, de certains animaux mous, etc.

Il y a aussi des structures tubuleuses qui tiennent tantôt à des débris organiques tubulaires, tantôt à des corps cylindriques qui ont laissé leurs moules dans les matières minérales.

Il faut remarquer enfin que les pierres calcaires sont souvent percées par certains mollusques, et offrent dès lors une structure cellulaire tout-à-fait accidentelle. Non seulement cette circonstance se présente dans les calcaires qui bordent nos mers, mais encore dans ceux qui se trouvent à l'intérieur des terres, qui par conséquent ont dû être jadis baignés par les eaux de l'océan.

DE LA CASSURE.

§ 84. Les structures que nous venons de décrire ont été souvent indiquées sous le nom de cassures, parce qu'en effet c'est par la cassure qu'elles se manifestent : c'est ainsi qu'on dit souvent que tel corps a la cassure lamellaire, granulaire, fibreuse, compacte, etc. ; mais la structure compacte nous offre dans la cassure quelques variations qu'il n'est pas inutile d'indiquer.

Cassure conoïde et conchoïde. — Lorsqu'on frappe sur une matière compacte, homogène, le choc détermine dans l'intérieur un cône plus ou moins obtus : c'est ce qu'on peut voir, par exemple, sur une bille d'agate, qu'on laisse tomber sur un corps dur. Lorsque le coup est assez fort, il se détache des fragments qui présentent en creux l'empreinte du mamelon conoïde mis à découvert. Or, ces empreintes ont une certaine analogie avec l'intérieur d'une coquille bivalve, et l'on dit alors que la cassure est *conchoïde :* elle est plus ou moins creuse, plus ou moins aplatie, suivant l'espèce de matière, qu'elle peut ainsi distinguer des autres.

Il y a aussi certaines substances compactes qui offrent dans leur cassure un nombre plus ou moins considérable d'esquilles prêtes à se détacher. On dit alors que la cassure est *esquilleuse*, et cette circonstance peut aussi faciliter quelques distinctions. Enfin, il y a des substances compactes dont la cassure est unie et plate : c'est, par exemple, le caractère des meilleures pierres lithographiques.

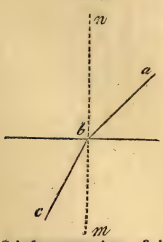
PROPRIÉTÉS OPTIQUES DES MINÉRAUX.

§ 85. Parmi les propriétés optiques des minéraux, les plus importantes sont la réfraction, simple ou double, la polarisation par réflexion, le polycroïsme, l'astérisme, les couleurs propres ou accidentelles. Quelques unes paraissent être inhérentes à la nature du corps, mais le plus grand nombre tiennent à l'arrangement de ses particules, et servent souvent à le découvrir.

RÉFRACTION SIMPLE.

§ 86. **Définition, résultat.** — Toutes les fois qu'un rayon de lumière, *a b* ou *c b*, fig. 349, passe obliquement d'un corps dans un autre, il est dévié de sa direction et comme brisé (*refractus*) à la jonction des deux milieux; de là l'expression de *réfraction*, par laquelle on désigne le phénomène. La réfraction est *simple*, lorsque le rayon reste simple dans un milieu comme dans l'autre ; elle est double lorsqu'il se divise en deux par l'action de l'un des corps.

349.



On nomme *angles d'incidence* et de *réfraction* les angles que le rayon fait avec la normale *m n* au point d'incidence avant et après la réfraction. L'observation fait voir que les sinus de ces angles sont dans un

rapport constant entre deux substances déterminées, et qu'ils varient, au contraire, quand à l'une des substances réfringentes on en substitue une autre : ainsi de l'air atmosphérique, où nous sommes constamment plongés. Il y a constance de rapport relativement à une substance déterminée, et variation, au contraire, pour toute autre substance. Ce rapport constant pour chaque substance se nomme *indice de réfraction*.

Applications. — L'observation de l'indice de réfraction est importante dans l'étude des corps bruts, en cela qu'elle peut souvent conduire à distinguer nettement ces corps les uns des autres, du moins lorsqu'ils sont purs de tout mélange mécanique qui pourrait déranger la marche des rayons, et qu'ils sont dans des états de cristallisation comparable. En effet, on distinguerait facilement par ce moyen les substances suivantes :

Noms des substances.		*Indices de réfraction*	
Diamant		2,439	2,755
Soufre		2,115	
Zircon		1,950	
Grenat		1,815	
Rubis spinelle		1,812	
Saphir bleu		1,794	
Rubis oriental		1,779	
Saphir blanc		1,768	
Feldspath		1,764	
Cymophane (chrysolite orientale)		1,760	
Calcaire cristallisé	rayon ordinaire	1,654	
	rayon extraordinaire	1,483	
Aragonite	l'un des rayons	1,693	
	l'autre	1,533	
Sulfate de baryte	l'un des rayons	1,635	
	l'autre	1,620	
Topaze jaune	l'un des rayons	1,640	
	l'autre	1,632	
Topaze blanche		1,610	
Quarz	rayon ordinaire	1,548	
	rayon extraordinaire	1,558	
Sel commun		1,557	
Calcédoine		1,553	
Sulfate de chaux (pierre à plâtre)		1,525	
Opale		1,479	
Borax		1,475	
Alun		1,457	
Fluor		1,436	

Les couleurs dont les substances peuvent être accidentellement

pourvues apportent toujours quelque différence dans l'indice de réfraction, et généralement l'élèvent. On voit en effet que le saphir blanc a pour indice 1, 768, le saphir bleu 1, 794, et le rubis oriental, qui est de la même nature, 1,779 ; la topaze blanche a pour indice de réfraction 1, 610, et la topaze jaune 1, 632.

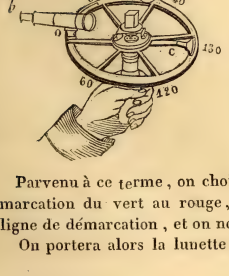
On peut remarquer aussi, comme nous l'avons annoncé § 46, que l'indice de réfraction n'est pas le même lorsque la substance cristallise dans deux systèmes différents. Ainsi le calcaire cristallisé rhomboédrique a pour indices 1, 654 et 1, 483 ; tandis que l'aragonite présente 1, 693 et 1, 535. De là on voit que la réfraction ne dépend pas seulement de la nature des substances, mais encore de l'arrangement de leurs particules.

§ 87. **Moyen de détermination.** — Parmi les différents moyens qu'on peut employer pour déterminer l'angle de réfraction, le plus simple consiste à faire tailler la substance en prisme (ou à prendre un cristal transparent et à faces lisses), à mesurer l'incidence des deux faces et à chercher ce qu'on nomme la déviation minimum du rayon qui traverse ce corps, c'est-à-dire l'angle minimum que l'image réfractée peut faire avec l'image directe. Au moyen de ces données, on obtient le rapport cherché ; car on démontre, α étant l'angle du prisme et Δ l'angle de déviation minimum, que l'indice de réfraction est représenté par la formule

$$\frac{\text{sinus } \frac{1}{2}(\alpha + \Delta)}{\text{sinus } \frac{1}{2}\alpha}$$

Le goniomètre de M. Babinet, au moyen duquel on peut avoir l'angle du prisme, § 10, sert aussi à mesurer la déviation minimum. Pour cela, le prisme étant sur le support central, on amène la lunette mobile b, fig. 350, à droite ou à gauche de la direction de la lunette fixe a, et, en tournant le support, on obtient bientôt une image du spectre solaire due au fil vertical de la lunette. En tournant alors doucement dans un sens ou dans l'autre, on voit généralement le spectre sortir de la lunette par un côté ou par l'autre.

350.



En rapprochant alors la lunette b de la direction de a, et en tournant en même temps le support pour ne pas perdre le spectre de vue, on arrive après quelques tâtonnements à une position telle que les deux mouvements contraires donnent un spectre qui s'écarte toujours dans le même sens : c'est le spectre de la déviation minimum.

Parvenu à ce terme, on choisira un point du spectre, par exemple la ligne de démarcation du vert au rouge, on amènera le point de croisement des fils sur cette ligne de démarcation, et on notera l'angle indiqué par le nonius.

On portera alors la lunette mobile de l'autre côté de la direction de la lunette a ;

on cherchera de même le spectre-limite, et on amènera le point de croisement des fils sur la même ligne de démarcation du vert au rouge. On aura alors entre les deux stations un angle dont la moitié est celui de la déviation minimum.

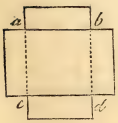
RÉFRACTION DOUBLE.

§ 88. **Exposé du phénomène.** — Il y a des substances dans lesquelles non seulement le rayon de lumière incident se réfracte, mais encore se divise en deux rayons distincts; c'est-à-dire que quand on regarde un objet à travers un de ces corps, on le voit généralement double : c'est ce qu'on peut observer très facilement, par exemple, avec un rhomboèdre de carbonate de chaux limpide (vulgairement spath d'Islande), et avec un grand nombre d'autres substances lorsqu'elles sont convenablement taillées.

Applications. — L'ensemble des observations fait voir que les corps qui ont la réfraction simple sont, ou privés de cristallisation, ou bien cristallisés dans le système cubique. Ceux qui ont la réfraction double sont, au contraire, tous cristallisés, et appartiennent aux autres systèmes.

Ce premier fait permet de distinguer beaucoup de substances, lors même qu'elles sont privées des caractères extérieurs qui servent ordinairement à les faire reconnaître, comme lorsqu'elles sont en fragments, ou lorsqu'elles ont été taillées. Jamais on ne confondra, par exemple, le verre et le cristal de roche, le rubis-spinelle et le rubis oriental, le grenat et le zircon, etc., parce que les premiers corps de chaque exemple donnent la réfraction simple, et les seconds la réfraction double. Les premiers sont donc des corps non cristallisés (le verre), ou qui appartiennent au système cubique (le spinelle et le grenat); les seconds sont, au contraire, des corps cristallisés qui appartiennent à l'un des autres systèmes.

351.



352.

§ 89. **Moyen d'observation.** — Pour reconnaître si une substance possède ou non la double réfraction, il suffit d'en placer un fragment entre deux lames de tourmaline taillées parallèlement à l'axe de cristallisation, et croisées à angle droit, comme fig. 351. On a pour cela des pinces élastiques, fig. 352, terminées par des montures qui enchâssent les lames de tourmaline, et qui peuvent facilement tourner l'une sur l'autre; la pièce d'essai placée entre ces lames y est maintenue naturellement par le ressort.

Si la substance a la réfraction simple, l'endroit du croisement *a b c d*, qui est naturellement obscur, ne laisse encore passer aucune lumière; si, au contraire, la substance possède la double réfraction, l'endroit du croisement s'éclaircit.

Pour comprendre ce qui se passe dans cette opération, il faut savoir qu'en traversant une substance douée de la double réfraction la lumière acquiert une propriété particulière qu'on a nommée *polarisation*. Cette propriété consiste en ce qu'un rayon ainsi modifié refuse plus ou moins, par un certain côté, de pénétrer dans un corps diaphane réfléchissant, tandis que par le côté opposé il y pénètre avec facilité. Les deux rayons obtenus par un corps doublement réfringent sont en général polarisés en sens inverse.

La tourmaline, substance à double réfraction, possède, ainsi que plusieurs autres matières, lorsqu'elle est taillée parallèlement à l'axe en plaques suffisamment épaisses, la propriété d'éteindre un des rayons et de laisser passer l'autre, qui est alors polarisé dans un certain sens, conforme à la position de la plaque qu'il a traversée. Ce rayon ne peut alors passer dans une plaque de la même substance dont l'axe est en sens inverse, et il y a obscurité à l'endroit du croisement.

Maintenant, une substance qui n'a que la réfraction simple ne change rien au système lorsqu'on la place entre les deux lames de tourmaline; mais une substance biréfringente force en général le rayon polarisé par la première tourmaline à se partager en deux faisceaux, dont l'un, polarisé en sens inverse du premier, peut alors traverser la tourmaline tournée vers l'œil.

Lorsque le fragment est irrégulier ou lorsque la matière est taillée à facettes, il peut rester quelque doute sur la double réfringence du corps. Dans ce cas, il est bon de noyer la pierre dans l'épaisseur d'une lame de liége, fig. 353, puis de coller une lame de verre sur chaque surface au moyen de térébenthine épaissie qui remplit les vides. On place l'appareil ainsi composé entre les lames de tourmaline.

353.

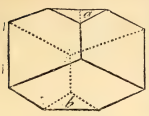
Observation. — Il ne faudrait pas toujours conclure trop rigoureusement, de ce qu'une substance laisse passer la lumière entre les lames de tourmaline croisées, qu'elle est cristallisée régulièrement et n'appartient pas au système cubique. Le verre, par exemple, qui n'est pas cristallisé, acquiert, par l'effet de la trempe (1), la propriété de dépolariser le rayon qui a traversé la première tourmaline, et, par conséquent, en dispose une partie à passer dans la seconde. Certains corps du système cubique, certains diamants, par exemple, produisent un résultat analogue, ce qu'on regarde aussi comme l'effet d'un certain arrangement forcé, et d'une

(1) On trempe le verre, c'est-à-dire qu'on fait prendre à ses molécules une sorte d'arrangement qui tend à la régularité cristalline, en le chauffant et le faisant refroidir rapidement.

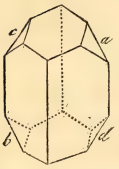
sorte de trempe. Les observations que nous allons faire nous garantiront de ces erreurs.

§ 90. **Lignes neutres ou axes.** — Le phénomène de double réfraction, dans une substance déterminée, ne se manifeste pas indifféremment dans tous les sens. On reconnaît toujours, en faisant tailler convenablement les corps, que pour les uns il y a une direction dans laquelle on ne voit qu'une seule image, et que pour les autres il y a deux directions de cette espèce. Dans le spath d'Islande, par exemple, le phénomène de double réfraction disparaît dans la direction de l'axe du cristal; de manière que, si l'on fait tailler sur les sommets d'un rhomboèdre des faces perpendiculaires à l'axe, *a* et *b*, fig. 354, on ne voit que des images simples des objets qu'on regarde à travers. Dans la topaze, qui cristallise en prismes rhomboïdaux, on trouve une direction neutre inclinée à la droite de l'axe, et une seconde direction inclinée à la gauche : par exemple, entre les deux faces *a* et *b*, fig. 355, on voit les objets simples, et de même entre les deux faces *c* et *d*.

354.



355.



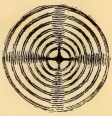
Ces directions où la double réfraction cesse d'avoir lieu ont été nommées *lignes neutres*, *axes de double réfraction*, *ou axes optiques*. Une ligne neutre unique, ou un seul axe, se confond toujours avec l'axe de cristallisation; la ligne moyenne, entre deux lignes neutres, correspond à un des axes cristallins qu'on peut concevoir dans la substance.

Application. — Voici maintenant l'observation minéralogiquement importante. Toutes les substances qui ont une seule ligne neutre appartiennent au système rhomboédrique, ou au système prismatique à bases carrées; toutes celles qui en ont deux appartiennent à l'un des autres systèmes prismatiques. Il résulte de là que, par l'observation des phénomènes optiques, on ne confondra pas plus, par exemple, le cristal de roche et la topaze, le spath d'Islande et le gypse (pierre à plâtre), qu'on ne les confondrait par la forme des cristaux les mieux prononcés.

§ 91. **Moyens d'observation.** — Il est donc important de pouvoir déterminer si une substance diaphane possède un seul axe, ou si elle en possède deux. Malheureusement, l'observation ne peut pas toujours avoir lieu immédiatement, et souvent il est nécessaire de faire tailler le corps qu'on veut examiner. Voici les faits qui établissent les caractères distinctifs.

Toutes les substances à un axe, taillées en plaque perpendiculairement à cette ligne, et placées alors entre deux lames de tourmaline, laissent voir des anneaux colorés, circulaires et concentriques, généralement traversés par une croix noire, fig. 356, si elles ont l'épaisseur convenable. Le spath d'Islande en offre un bel exemple; mais le quarz a besoin d'être en plaques excessivement minces pour laisser apercevoir une ombre bleuâtre de cette croix; et si la plaque a une épaisseur un peu plus forte, la croix disparaît entièrement : le centre est alors simplement coloré, d'une manière ou d'une autre.

356.



Les substances à deux axes, taillées perpendiculairement à la ligne moyenne, laissent voir deux séries d'anneaux colorés, fig. 357, l'une d'un côté de la ligne moyenne, l'autre du côté opposé : ces anneaux sont elliptiques et traversés chacun par une bande noire. Les deux séries sont plus ou moins éloignées l'une de l'autre, suivant les substances; c'est-à-dire que les axes de double réfraction font entre eux des angles plus ou moins ouverts.

357.

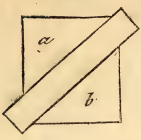
Il faut remarquer que certaines substances, telles que l'émeraude, la tourmaline, l'anatase, l'idocrase, le zircon, etc., qui se rapportent aux systèmes à un axe, présentent quelquefois des phénomènes qui les rapprochent des matières à deux axes. Lorsqu'elles sont taillées en plaques perpendiculaires à l'axe, et placées entre les lames de tourmaline croisées, on reconnaît, pour certaines positions, la croix noire qui doit les caractériser; mais en les faisant tourner sur leur plan, on voit bientôt les branches de cette croix se tordre et donner lieu à des anneaux séparés. Souvent cet effet se produit dans certains points d'une même plaque, tandis qu'il n'a pas lieu dans les autres.

Généralement les substances cristallines ont besoin d'être taillées pour présenter les phénomènes que nous avons indiqués. Cependant il en est qui ont des clivages perpendiculaires à l'axe, ou à la ligne moyenne des axes, comme la topaze, les micas, le talc, etc., et il suffit d'en détacher une lame, de la placer entre les plaques de tourmaline croisées, pour apercevoir leurs propriétés, soit immédiatement, soit en inclinant l'appareil d'un côté ou de l'autre devant l'œil.

Lorsque le clivage n'est pas perpendiculaire à l'axe, il suffit

quelquefois, pour pouvoir observer les phénomènes, d'incliner les lames qu'on en obtient entre les plaques de tourmaline; mais quand l'indice de réfraction est un peu fort, le rayon sort du champ de la vision, et l'on n'aperçoit rien. Dans ce cas, on peut y accoler deux petits prismes de verre, *a* et *b*, fig. 358, d'un angle ou d'un autre, en les fixant par de la térébenthine épaissie; c'est ce qu'on peut faire, par exemple, pour des plaques minces de spath d'Islande, qui ne montrent pas alors immédiatement l'indice de la ligne neutre qu'elles possèdent.

358.



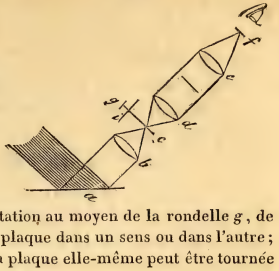
On peut quelquefois se servir aussi d'un fragment irrégulier pour observer les phénomènes, en y accolant des prismes dans un sens ou dans l'autre; mais ce procédé est souvent incertain, et, en général, il vaut mieux faire tailler dans la substance une plaque à faces parallèles.

§ 92. **Polariscope d'Amici.** — La pince à tourmaline a l'avantage de présenter un instrument peu volumineux et peu dispendieux, mais elle offre souvent peu de facilité pour l'observation des phénomènes, tant à cause de la coloration des lames qui la composent que par la petitesse des fragments des diverses matières qu'on peut avoir à essayer. M. Amici a imaginé un instrument, à la vérité assez coûteux, qui donne beaucoup plus de lumière et permet d'opérer sur de très petites lames transparentes qu'il est toujours plus facile de se procurer. Le jeu des lentilles est d'ailleurs tel, qu'on peut apercevoir à la fois, sans être obligé d'incliner le cristal à droite ou à gauche, tous les phénomènes qui sont dus à l'inclinaison des rayons polarisés dans leur passage à travers la substance.

§ 93. **Écart des axes.** — Nous avons dit que les deux systèmes d'anneaux elliptiques sont plus ou moins écartés l'un de l'autre, suivant la nature des substances, ou, en d'autres termes, que les axes optiques font entre eux des angles plus ou moins ouverts. Cette circonstance distingue parfaitement les divers corps bruts les uns des autres; mais on conçoit que l'observation vague du plus ou du moins ne peut faire distinguer que les extrêmes, et que, pour apprécier la différence dans tous les corps, il faut évaluer les angles en degrés. On doit dès lors substituer à la pince à tourmaline, et même au polariscope d'Amici, un appareil susceptible de donner des mesures, sinon tout-à-fait exactes, ce qui est difficile, du moins comparables entre elles.

On peut se servir à cet effet de l'appareil de M. Soleil (1), fig. 359, qui remplace d'ailleurs avec avantage la pince à tourmaline. Il consiste en un plan noir *a*, par le moyen duquel la lumière vague des nuées, réfléchie sous l'angle de 35° 25', se trouve polarisée, et vient traverser une lentille *b* qui réunit les rayons parallèles à son foyer. A ce foyer est une pince *c* sur laquelle on adapte la plaque du corps qu'on veut éprouver. De ce point, les rayons lumineux vont traverser une autre lentille *d*, qui les rend de nouveau parallèles; une troisième lentille *e* les reçoit alors et les fait converger en *f*, où se trouve une lame de tourmaline qui sert d'oculaire.

359.



La pince *c* peut recevoir un mouvement de rotation au moyen de la rondelle *g*, de manière qu'on puisse incliner plus ou moins la plaque dans un sens ou dans l'autre; l'angle est alors indiqué sur un cercle divisé *i*. La plaque elle-même peut être tournée sur son plan, entre les pinces, comme on le désire.

Entre les deux lentilles *d* et *e* se trouvent deux fils croisés rectangulaires.

Pour déterminer l'écartement des axes, on place la lame d'essai sur le support *c*, on la tourne sur son plan de manière que les deux centres des anneaux coïncident avec le fil vertical; puis on tourne la virole *g* pour amener successivement chaque centre sur le point de croisement des fils; l'arc qui se trouve alors décrit par la pince donne l'angle des lignes neutres entre elles. On obtiendra ainsi par exemple les angles suivants, qui distinguent nettement les substances auxquelles ils se rapportent.

Strontianite.	60° 56'	Célestine.	50°
Talc.	7° 24'	Gypse.	60° 6'
Céruse.	17° 30'	Cordiérite.	62° 50'
Aragonite.	18° 18'	Orthose.	65°
Barytine.	37° 42'	Cyanite.	81° 48'
Stilbite.	41° 42'	Épidote.	84° 19'
Karsténite.	44° 41'	Péridot.	87° 56'

On reconnaîtra aussi que les matières qu'on nomme *topazes* présentent dans les diverses variétés d'assez grandes différences, comme de 45° à 65°, ce qui semble indiquer des espèces distinctes. Les *micas* présenteront des différences bien plus grandes encore, car on y observera une vingtaine d'angles différents entre 6° et 76°; ce qui conduit à y concevoir autant d'espèces.

§ 94. **Diamètre des anneaux.** — Les diamètres des anneaux colorés, soit circulaires, soit elliptiques, varient d'une substance à l'autre lorsque les plaques qui les produisent sont de la même épaisseur; par conséquent, si l'on faisait tailler toutes les substances en plaques de même épaisseur, on pourrait les distinguer par ces diamètres. Il est clair qu'on reconnaîtrait immédiatement à l'œil celles qui présentent les plus grandes différences; mais, pour beaucoup d'autres, il serait encore nécessaire de prendre des me-

(1) Cet habile opticien tient spécialement les substances taillées qui montrent les différents effets dont nous avons parlé, ainsi que les appareils de polarisation, ceux qui sont propres à projeter les figures sur des plans, et les faire voir ainsi à un grand nombre de personnes, même avec la lumière d'une lampe Carcel.

sures qui puissent permettre la comparaison. L'appareil de M. Soleil peut encore servir ici ; pour cela, on amène sur le fil horizontal le bord d'un anneau déterminé, puis l'autre bord, et l'on obtient la distance angulaire de l'un à l'autre sur le limbe divisé.

§ 95. **Cristaux attractifs et répulsifs.** — Il y a des cristaux à un axe où l'indice de réfraction ordinaire est plus grand que l'indice extraordinaire, et d'autres où c'est précisément le contraire : c'est-à-dire que dans les uns le rayon ordinaire est celui qui s'éloigne le plus de l'axe, comme s'il était repoussé, et que dans les autres il s'en rapproche le plus, comme s'il était attiré. Les premiers sont nommés cristaux *répulsifs* ou *négatifs ;* les autres, cristaux *attractifs* ou *positifs*. Cette circonstance offre encore un moyen de distinguer certaines substances de diverses autres, malgré les analogies extérieures, par exemple :

Cristaux négatifs.		*Cristaux positifs.*
L'apatite.		
Le calcaire.		
Le cinabre	et.	l'argyrose.
Le corindon	et.	le quarz.
L'émeraude		la dioptase.
La néphéline	et.	l'apophyllite.
La pyromorphite.		
La tourmaline,		
L'anatase	et.	la cassitérite.
L'idocrase	et.	le zircon.
La wernérite		
La mellite.		
La mélinose.		

Moyen d'observation. — Pour reconnaître si une substance à un axe est attractive ou répulsive, il suffit, après en avoir disposé une plaque dans l'appareil pour observer les anneaux, de lui superposer une plaque semblable d'une substance dont le mode d'action est connu (spath d'Islande, par exemple, qui est répulsif), et de remarquer si les anneaux s'élargissent ou se rétrécissent. S'ils s'élargissent, les deux subtances sont d'action contraire, car les choses se passent comme si on diminuait l'épaisseur de la plaque : donc la substance est attractive. S'ils se rétrécissent, les actions s'ajoutent, puisque les choses se passent comme si on augmentait l'épaisseur de la plaque ; par conséquent, les actions sont de même espèce : donc la substance est répulsive (1).

(1) C'est par des modifications dans les diverses propriétés optiques dont nous venons de parler qu'on s'aperçoit des changements de systèmes cristallins qui peuvent se manifester dans un corps par différents moyens (voyez § 46 et 48).

ANGLE DE POLARISATION.

§ 94. La lumière se polarise par réflexion à la surface des corps ; mais l'angle sous lequel le maximum d'effet a lieu est différent dans les diverses substances, ce qui fournit encore, du moins pour les extrêmes, les moyens de les distinguer. Ainsi on ne confondra pas les substances suivantes d'après l'angle de polarisation.

	Angles de polarisation.
Verre	54° 35' (1)
Fluorine	55° 9'
Gypse	56° 45'
Quarz	56° 58'
Brucite	57° 25'
Barytine	58° 29'
Topaze	58° 34'
Spath d'Islande	58° 51'
Spinelle	60° 25'
Zircon	63° 0'
Soufre	63° 45'
Diamant	68° 1'
Crocoïse	68° 3'

M. Brewster a trouvé cette loi générale : que la tangente de l'angle de polarisation est égale à l'indice de réfraction, en sorte qu'on peut connaître l'un par l'autre.

On peut, pour déterminer l'angle de polarisation, se servir de tous les instruments propres à mesurer l'inclinaison d'un rayon réfléchi. Le goniomètre de M. Babinet peut être employé pour cela avec facilité, en plaçant une tourmaline sur l'oculaire de manière que son axe soit perpendiculaire au plan du cercle. Il suffit alors, l'alidade étant à 0°, de faire mouvoir le support sur lequel le corps est fixé, en même temps que la lunette mobile, jusqu'à ce que l'image de la lunette fixe, réfléchie par le corps, soit éteinte par la tourmaline, ou amenée au minimum d'intensité. On obtient alors l'inclinaison du rayon polarisé sur le plan réfléchissant, dont il faut prendre le complément pour rentrer dans le mode d'indication que nous avons adopté.

(1) Ces angles sont ceux que le rayon réfléchi polarisé fait avec la normale.

POLYCHROISME.

§ 95. Les substances douées de la double réfraction nous offrent encore une autre propriété. Lorsqu'on les place entre l'œil et la lumière, elles présentent une couleur ou une autre suivant la direction dans laquelle les rayons lumineux les traversent. Parallèlement aux axes, aucune partie de lumière n'est polarisée, et on observe alors une teinte déterminée. Dans toutes les autres positions, la lumière émergente est un mélange de lumière polarisée et de lumière ordinaire, et la teinte est alors différente; elle varie avec les quantités respectives de ce mélange.

Lorsqu'on analyse la lumière transmise, au moyen d'une lame de tourmaline, tournée de manière à rejeter la lumière polarisée, on observe la même teinte dans toutes les directions.

Les teintes ne sont pas toujours nettement tranchées; mais, lorsqu'elles le sont, on trouve encore ici un moyen de déterminer la direction des axes : il suffit de chercher quelle est la direction où, à la vue simple, on observe la teinte semblable à celle qu'on obtient au moyen de la tourmaline analysante.

ÉCLAT.

§ 96. Lorsque la lumière se réfléchit à la surface d'un corps, il se produit deux effets : l'un qui reporte à l'œil l'image des objets, c'est la réflexion propre; l'autre, en vertu duquel l'œil aperçoit le corps lui-même, et, nonobstant les couleurs, en reçoit une impression particulière. C'est cette impression qu'on nomme l'*éclat* du corps, et au moyen de laquelle nous distinguons une multitude d'objets les uns des autres : par exemple, une plaque d'acier poli d'une plaque de verre, un morceau de cire d'un morceau de résine, etc. On a dû s'en servir également pour la comparaison des diverses substances minérales; et on distingue principalement alors l'*éclat métallique*, l'*éclat vitreux*, l'*éclat résineux*, l'*éclat gras*, l'*éclat nacré*, l'*éclat soyeux*, qui n'est que l'éclat nacré accompagné de la structure fibreuse. On admet aussi différentes variétés, qu'on désigne par des épithètes, comme demi-métalliques, demi-vitreux, etc.; on dit encore *éclat métalloïde* pour désigner l'apparence métallique que présentent certaines substances pierreuses. L'éclat du diamant a quelque chose de particulier qu'on ne trouve que dans un très petit nombre de substances.

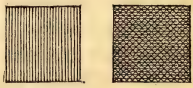
L'éclat est souvent fort variable dans le même corps, en sorte qu'il ne peut servir à distinguer exactement une substance de toutes les autres. Cependant il ne varie jamais de l'éclat métallique à l'éclat vitreux; et, sous ce rapport, il peut avoir quelque utilité.

ASTÉRISME, CERCLES PARHÉLIQUES, COURONNES.

§ 97. **Astérisme.** — On connaissait depuis longtemps une variété de saphir, qui montrait, par réflexion devant une vive lumière, une étoile brillante à six rayons. Plus tard, on s'est aperçu que le même phénomène avait lieu par réfraction, en regardant la lumière d'une bougie à travers la pierre. On vit ensuite que plusieurs substances donnaient également des étoiles, à branche plus ou moin nombreuses. M. Babinet a rattaché ces phénomènes à ceux des réseaux dont voici les faits analogues.

Lorsqu'on regarde la lumière d'une bougie à travers une lame de verre sur laquelle on a tracé des stries parallèles (1), fig. 360, on voit des deux côtés de la flamme une bande lumineuse perpendiculaire à leur direction. Quand les stries sont croisées à angle droit, on aperçoit deux bandes lumineuses croisées de même, et, conséquemment, une étoile à quatre rayons rectangulaires : c'est ce qu'on peut voir en regardant la lumière à travers un linge fin. Avec trois séries de stries, fig. 361, on a trois bandes, et, conséquemment, une étoile à six rayons, etc. Généralement, il y a autant de bandes lumineuses que de directions de stries, et les angles des bandes entre elles sont précisément ceux des stries elles-mêmes.

360. 361.



Des structures semblables dans les minéraux produisent les mêmes effets. Ainsi, quand on trouve des substances susceptibles de *chatoiement* par réflexion, on reconnaît qu'elles sont fibreuses, à fibres plus ou moins fines, et que c'est perpendiculairement à ces fibres que se montre la ligne de reflet lumineux qu'elles présentent. Le gypse, et le carbonate de chaux fibreux, le quarz fibreux, le quarz asbestifère (œil de chat), etc., présentent ces effets d'une manière saillante.

(1) Une lame de verre sur laquelle on a passé le doigt légèrement humide produit le même effet.

En examinant au microscope les corps astérisants, on y découvre aussi le plus souvent des structures correspondantes. Ainsi, une plaque coupée perpendiculairement à l'axe d'un prisme hexagone de saphir, présente des stries qui forment entre elles des triangles équilatéraux : elles doivent donc donner des étoiles à six rayons; un prisme d'émeraude est dans le même cas, etc. Un prisme carré d'idocrase présente sur ses bases, au microscope, des lignes rectangulaires, et il donne, en effet, des étoiles à quatre rayons rectangulaires. Un prisme de sulfate de baryte présente deux systèmes de lignes qui se croisent obliquement, et il produit une astérie à quatre branches qui se croisent de même, etc.

L'espèce d'astérisme que présente une substance peut donc nous donner sur sa structure intérieure des indices qui nous échappent de toute autre manière. Ainsi, on doit conclure que les prismes de saphir et d'émeraude sont formés de prismes triangulaires équilatéraux; que les prismes d'idocrase sont formés de prismes carrés, que ceux de sulfate de baryte sont formés de prismes rhomboïdaux, etc. Ce qui prouve, en effet, qu'il en est ainsi, c'est qu'une plaque coupée dans ces corps parallèlement à l'axe ne produit qu'une seule ligne lumineuse; ou tout au plus deux lignes rectangulaires dont l'une correspond au clivage de la base.

Les observations, en se multipliant, nous donneront sans doute quelque jour des résultats importants, et l'on verra probablement pourquoi certaines substances, le quarz, par exemple, malgré leur analogie avec d'autres, ne produisent pas d'astérismes; on déterminera la forme et la disposition des molécules qui conviennent au grenat trapézoèdre pour produire des étoiles à six rayons inclinés de 60°, lorsqu'on le taille sur certains angles, et des étoiles à quatre rayons inclinés de 60 et 120° sur d'autres; pourquoi il n'en est pas de même dans d'autres substances du système cubique, etc.; pourquoi enfin les différentes formes d'une même substance offrent à cet égard des dispositions diverses, et quels sont les rapports qu'elles peuvent avoir entre elles.

§ 98. **Cercle parhélique.** — Toutes les substances astériques produisent encore un autre phénomène qui tient aux systèmes de stries parallèles à l'axe, déterminées par les arêtes des molécules prismatiques composantes, sur lesquelles la lumière se réfléchit aussi en traversant la pierre. Ce phénomène consiste en un cercle lumineux passant par la flamme qui sert de point de mire. Non seulement il a lieu dans les substances cristallisées, mais il se voit encore dans toutes les matières irrégulièrement fibreuses, à fibres parallèles, taillées perpendiculairement à leur direction.

§ 99. **Couronnes.** — Lorsque les substances sont composées uniformément de fibres régulières, parallèles, et qu'on taille des plaques perpendiculairement à leur direction, on voit à travers ces plaques une couronne circulaire autour de la lumière qu'on prend pour point de mire. Les couronnes sont plus ou moins grandes suivant la grosseur des fibres, qu'on peut parvenir à évaluer rigoureusement par la mesure du diamètre des cercles.

COULEURS.

§ 100. **Couleurs propres.** — Les couleurs des minéraux doivent être distinguées en *couleurs propres* et *couleurs accidentelles*. Les premières tiennent à la nature même des corps et sont dès lors importantes pour leur distinction. Elles se trouvent dans les métaux, dans le soufre, dans les sulfures, dans les oxydes et dans quelques uns de leurs composés. Ces couleurs sont toujours uniformes dans toute l'étendue de la masse du corps; elles varient quelquefois suivant son plus ou moins de compacité, et jusqu'à paraître tout-à-fait noires, ce qui a lieu surtout dans les oxydes; mais la couleur de la poussière est toujours la même, quelle que soit celle de la masse, et c'est pourquoi on l'indique particulièrement dans l'exposé des caractères. Ces couleurs varient quelquefois avec l'arrangement particulier des molécules : c'est ainsi que le soufre, fondu à 109° et refroidi présente la couleur jaune qu'on lui connaît; tandis que, porté au point d'ébullition (400°) et refroidi brusquement, il prend la couleur brun rouge, en même temps qu'il devient mou. Le phosphore refroidi lentement présente une couleur jaunâtre, et il est noir lorsqu'on le refroidit rapidement.

§ 101. **Couleurs accidentelles.** — Un grand nombre de corps terreux, pierreux et vitreux sont naturellement blancs; mais ils se trouvent fréquemment mélangés de matières douées de couleurs diverses, propres ou accidentelles, qui les colorent dans tout ou partie de leur masse. De là il résulte que ces corps peuvent présenter une multitude de couleurs différentes, suivant les circonstances où ils se sont formés : c'est ainsi que le cristal de roche est tantôt incolore, tantôt coloré en jaune, en vert, en brun, en noir, en violet, etc.; que l'émeraude, qu'on se figure toujours comme une pierre verte, se trouve aussi incolore, ou bien de couleur bleue, jaune, etc.

On voit fréquemment les matières qui ont cristallisé ensemble se pénétrer dans quelques parties, et celles qui sont colorées se

disséminer dans la masse des autres en leur donnant une teinte particulière. Souvent ces sortes de mélanges troublent la transparence des corps, qui en deviennent même tout-à-fait opaques ; mais souvent aussi les corps restent alors plus ou moins diaphanes, ce qui indique ou que la matière étrangère est en particules extrêmement fines, ou qu'elle se trouve dans une sorte de combinaison chimique. Les effets du polychroïsme nous indiquent dans les corps des dispositions particulières des matières colorantes que peut-être un jour ils nous conduiront à expliquer.

Ces matières colorantes sont quelquefois des principes fugaces que le feu peut détruire, comme dans la plupart des quarz noirs ; quelquefois ce sont des principes organiques, comme dans la cornaline, qui doit en grande partie sa couleur rouge à des globules organisés qu'on y voit quelquefois dispersés isolément.

Les couleurs accidentelles ne sont pas toujours uniformes comme les couleurs propres ; d'une part elles varient d'intensité et de nuances, de l'autre elles se mélangent fréquemment, de manière que la même masse, le même cristal, se colore de diverses manières dans ses différentes parties. On indique souvent les dessins que ces diverses couleurs forment entre elles, par les épithètes *rubanés*, *zonaires*, *tachetés*, *pointillés*, *veinés*, *nuagés*, *dendritiques*, *flambés*, *ruiniformes*, etc. Plusieurs de ces dispositions paraissent tenir aux circonstances qui ont accompagné la formation des corps, et peuvent s'expliquer, comme les marbrures du savon, par le plus ou moins de liquidité et de viscosité des matières au moment qui a précédé la consolidation. D'autres sont des résultats de décomposition de l'intérieur à l'extérieur, ou réciproquement. Les dispositions flambées et ruiniformes tiennent à des fissures dirigées dans tous les sens, et dans lesquelles ont pénétré des liquides ou des vapeurs qui ont occasionné des décompositions à plus ou moins de profondeur : aussi remarque-t-on que ce qu'on nomme le *marbre ruiniforme de Florence* n'est qu'une variété de pierres calcaires prise dans le voisinage de certaines fentes, par lesquelles s'échappent les vapeurs chargées de diverses matières qui constituent le phénomène des *fumarolles*.

Couleurs superficielles. — Il y a des couleurs accidentelles qui ne sont que superficielles ; souvent elles tiennent à des pellicules minces de matières étrangères, ce qui a lieu particulièrement pour certains minerais de fer qui présentent soit à la surface de leurs cristaux (fer oligiste de l'île d'Elbe), soit sur les stalactites, des teintes irisées, plus ou moins variées, que le lavage détruit quelquefois entièrement. Dans d'autres circonstances, ces iris tiennent

à l'altération de la surface, comme il arrive fréquemment dans le *cuivre pyriteux*.

Iris intérieur. — Il y a aussi des couleurs irisées qui se manifestent à l'intérieur des corps, et dont les unes sont dues à des fissures plus ou moins étendues, les autres à des circonstances entièrement inconnues. Parmi ces dernières se trouvent, d'un côté, les belles couleurs irisées qui font rechercher l'*opale;* de l'autre les teintes vives, et variables suivant le plus ou moins d'inclinaison du corps sur la lumière, qui ont fait remarquer et rechercher la *pierre de Labrador*.

PHOSPHORESCENCE.

§ 102. **Définition.** — Si la phosphorescence, comme diverses expériences semblent l'indiquer, se rapporte à l'électricité, elle nous présente des jeux de lumière comme effet, et peut dès lors être indiquée à la suite des phénomènes optiques.

Cette propriété se manifeste par des lueurs plus ou moins vives de diverses couleurs qu'on aperçoit dans l'obscurité, et qu'on peut provoquer dans les minéraux de diverses manières, savoir : par frottement, par percussion ou compression, par élévation de température, par exposition au soleil.

Phosphorescence par frottement. — Il y a des corps sur lesquels il suffit du plus léger frottement pour en faire jaillir une lueur plus ou moins vive : par exemple, certaines variétés de sulfure de zinc. D'autres, au contraire, ont besoin d'un frottement assez fort, tels que le cristal de roche, la plupart des matières vitreuses, certains marbres, etc., dont il faut souvent frotter avec force deux fragments l'un contre l'autre. Dans ces différents cas, c'est toujours une lumière blanchâtre qu'on obtient dans l'obscurité. La percussion produit des effets analogues, surtout dans les matières clivables : chaque fissure qu'on y produit présente une lumière plus ou moins vive pendant quelques instants, et, lorsqu'on les broie dans un mortier, la masse paraît toute en feu. Le feldspath limpide est surtout remarquable sous ce rapport.

Phosphorescence par la chaleur. — La plupart des substances minérales produisent des lueurs phosphoriques plus ou moins vives par l'élévation de température. Il en est qu'on est obligé de chauffer pour cela fortement dans des creusets; d'autres ne demandent qu'une chaleur rouge sombre et même beaucoup moins. Parmi ces dernières, la plus remarquable est la fluorine. Il y en a des variétés, rares à la vérité, qui n'ont besoin que de la chaleur de la main.

D'autres exigent la température de l'eau bouillante, et le plus grand nombre la chaleur rouge sombre; les premières ne présentent que des lueurs verdâtres, les autres offrent des couleurs beaucoup plus variées.

Il est à remarquer que les fragments de ces matières, soumis à une température rouge, perdent leurs couleurs naturelles, et en même temps la propriété d'être phosphorescents à des températures plus basses. Lorsque ces matières sont devenues blanches par l'effet d'une certaine température, elles ne donnent plus que des lueurs blanches à des températures plus élevées.

La phosphorescence par la chaleur ne paraît avoir aucun rapport avec la phosphorescence par frottement; celle-ci se conserve toujours quoique l'autre ait été perdue. L'état des surfaces influe considérablement sur la production des phénomènes. Un cristal de fluorine limpide qui n'est pas phosphorescent le devient lorsqu'on use ses faces sur un grès et qu'on l'expose alors sur une plaque échauffée pendant quelques secondes. Généralement les cristaux dont les faces naturelles sont vives et brillantes ne sont pas phosphorescents, et le deviennent au contraire quand les surfaces sont dépolies ou lorsqu'on les a brisés en fragments; il est remarquable aussi que souvent ils deviennent phosphorescents lorsqu'on les expose sur la plaque chaude par des faces secondaires, tandis qu'ils ne le sont pas lorsqu'on les place sur les faces primitives. Le diamant acquiert la phosphorescence lorsqu'il est poli, et n'en donne point lorsqu'il est en cristaux naturels.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DIVERSES.

ÉLASTICITÉ.

§ 103. **Définition.** — Beaucoup de substances minérales sont *élastiques*, c'est-à-dire que leurs molécules ont la propriété de se déplacer momentanément et de revenir bientôt à leurs premières positions. Cette propriété est l'inverse de la *ductilité*, où les molécules, une fois déplacées, restent d'une manière permanente dans leurs nouvelles positions : c'est ce qu'on remarque particulièrement dans les métaux, qu'on peut par cela même forger, laminer, étirer en fil à volonté.

L'élasticité se manifeste surtout dans les lames ou les plaques de certains corps qui peuvent être plus ou moins courbées, et qui reviennent ensuite à leur état naturel. Cette propriété les distingue

de beaucoup d'autres qui sont simplement *flexibles* et qui conservent la courbure qu'on leur a donnée artificiellement.

La flexibilité, opposée à la *rigidité*, qu'elle soit ou non accompagnée d'élasticité, se fait surtout remarquer dans les substances qui se divisent naturellement en lames, ou qui se trouvent en filaments très déliés; elle se manifeste à un très haut degré dans les matières qu'on nomme *asbeste* ou *amiante*, qui ne sont que des assemblages de fibres déliées et peu adhérentes, qu'on observe dans différentes substances, § 78. Il y en a des variétés qui sont aussi souples que de l'étoupe de soie.

§ 104. **Axes d'élasticité.** — Ce qui est surtout remarquable dans les corps cristallisés, relativement à l'élasticité, c'est que cette propriété n'est pas la même dans toutes les directions, et qu'il y a des lignes de *maximum* et de *minimum*, qu'on nomme axes d'élasticité: c'est ce qui se manifeste par les variations de la température; car M. Mitscherlich a fait voir depuis longtemps que les inclinaisons mutuelles des faces d'un cristal qui n'appartient pas au système cubique présentent alors des différences sensibles, ce qui ne peut provenir que de l'inégalité de dilatation en différents sens. On s'en aperçoit aussi, et d'une manière plus frappante, par les modes de vibration que présentent les plaques taillées en différents sens dans un cristal, comme il résulte des expériences de Savart.

362.

Une lame taillée perpendiculairement à l'axe d'un rhomboèdre donne deux modes de lignes nodales, composés chacun de deux lignes droites rectangulaires, fig. 362, qui produisent sensiblement le même son.

363.

Une lame taillée parallèlement aux faces produit aussi deux systèmes de lignes nodales, mais l'un rectangulaire et l'autre hyperbolique, fig. 363. Le système rectangulaire donne alors le son le plus grave.

364.

Si on taille une lame sur un des angles solides latéraux, parallèlement aux faces d'un rhomboèdre inverse du précédent, § 25, 4°, on obtient aussi deux systèmes nodaux, l'un rectangulaire, l'autre hyperbolique; mais d'un côté les sommets de l'hyperbole sont plus écartés que les précédents, fig. 364, et de l'autre le système rectangulaire donne le son le plus aigu.

Si la lame taillée sur l'angle est parallèle à l'axe, il se présente

365.

encore dans les lignes nodales un système rectangulaire et un système hyperbolique ; mais le premier donne le son le plus élevé.

Enfin, si l'on taille les lames sur les arêtes latérales et parallèlement à l'axe, elles présentent deux systèmes de lignes nodales hyperboliques, fig. 365, qui donnent des sons différents.

Application. — Ces expériences présentent déjà quelque utilité à la cristallographie. Lorsqu'une substance rhomboédrique n'est pas clivable, il est impossible de distinguer soit les deux rhomboèdres inverses identiques qu'elle peut présenter, § 26, soit les deux sortes de prismes hexagones dont elle est susceptible. Or il sera toujours facile de reconnaître ces solides en taillant des plaques parallèlement à leurs faces, et en les faisant vibrer ; car, pour le rhomboèdre direct, le système nodal rectangulaire donne le son le plus grave, et dans le rhomboèdre inverse il donne le son le plus aigu. Le prisme produit sur les angles donne un système rectangulaire et un système hyperbolique, et l'autre, au contraire, produit deux systèmes hyperboliques.

DURETÉ.

§ 105. **Définition.** — Dans les usages de la vie on dit qu'un corps est dur, tantôt parce qu'il résiste à l'action du choc, tantôt par opposition à *mou* ou *flexible*, ou enfin parce qu'on ne peut l'entamer avec un instrument tranchant. En minéralogie on entend par *dureté* le plus ou moins de résistance qu'un corps oppose à être entamé, rayé ou usé par un autre corps. C'est sous ce rapport que le diamant est le corps le plus dur que l'on connaisse, parce qu'il raie ou use tous les corps et n'est rayé ou usé par aucun : aussi faut-il employer sa propre poussière pour le tailler et le polir : il ne faudrait pas croire pour cela qu'il résistât de même au choc ; il est au contraire extrêmement fragile.

Rapport avec l'arrangement moléculaire. — La dureté a beaucoup de rapport avec la forme et l'arrangement des molécules. Dans un même cristal, elle n'est pas exactement la même dans tous les sens : certaines faces se raient plus facilement que d'autres, et certains angles solides possèdent à un plus haut degré la propriété de rayer tel ou tel corps. Des variétés critallisées d'un corps ne sont pas comparables à celles qui sont formées par agrégation confuse. La dureté n'est pas comparable non plus dans les cas de

dimorphisme; ainsi l'aragonite raie fortement le carbonate de chaux ordinaire, et n'en est pas rayée; de même que l'acier trempé raie l'acier recuit et offre une résistance beaucoup plus considérable à tous les corps par lesquels on cherche à l'user.

Application. — On se sert de la dureté pour distinguer différents corps : c'est ainsi qu'on reconnaîtra toujours le diamant, qui raie tous les corps, le rubis et le saphir, qui les raient aussi et ne sont rayés que par le premier; de même on distinguera les pierres précieuses de tous les verres colorés par lesquels on cherche à les imiter, car toutes ces pierres raient le verre et n'en sont pas rayées : le carbonate de chaux cristallisé ne se confondra pas avec le gypse, que l'ongle même raie avec facilité. Cependant la distinction n'est bien apparente que pour quelques extrêmes, et l'on ne connaît pas encore de moyens de l'évaluer pour des corps très rapprochés. On a pris, pour y parvenir, dix substances de plus en plus dures pour termes de comparaison, savoir : 1 le talc, 2 le gypse, 3 le calcaire, 4 le fluor, 5 l'apathite, 6 le feld-spath, 7 le quarz, 8 la topaze, 9 le corindon (rubis et saphir), 10 le diamant, et l'on indique souvent alors la dureté d'un corps par des nombres intermédiaires : c'est ainsi que la dureté de l'émeraude est exprimée par 7-8, ce qui la place entre le quarz et la topaze.

§ 106. **Choc du briquet.** — On donne quelquefois aussi comme caractère la propriété de faire feu avec le briquet. C'est un effet composé de la dureté et de la ténacité : de la dureté parce qu'il faut que la substance puisse entamer l'acier, dont la parcelle, lancée rapidement dans l'air, s'enflamme et produit l'étincelle; de la ténacité, parce qu'il faut que la pierre résiste suffisamment au choc. Le diamant ne produit pas d'étincelles, parce que, s'il est plus dur que les autres corps, il est trop fragile; le cristal de roche ne donne pas autant d'étincelles que la pierre à fusil, qui est de même nature, parce qu'il a moins de ténacité.

POIDS SPÉCIFIQUES.

§ 107. **Définition, applications.** — Sous un volume déterminé, chaque corps a son poids particulier, ou, suivant l'expression reçue, son poids spécifique. Ainsi une balle de plomb pèse plus qu'une bille de marbre de même calibre, celle-ci plus qu'une bille d'ivoire, etc.; une pièce d'or pèse plus qu'une pièce d'argent du même volume, et il en est de même de tous les corps. Il y en a qui sont tellement différents qu'il suffit d'en prendre deux morceaux à peu près égaux

pour les distinguer à l'instant. On ne confondrait jamais, par exemple, le platine avec l'argent, qui pèse moitié moins, ni avec l'étain, qui ne pèse guère que le tiers; l'or ne se confondrait pas davantage avec le cuivre jaune, le sulfate de baryte avec le calcaire, la topaze avec l'ambre jaune, etc., et l'on pourrait citer une multitude d'autres corps. Cependant il y a un grand nombre de substances qui diffèrent beaucoup moins les unes des autres, et qu'on ne peut dès lors distinguer que par des évaluations suffisamment précises.

Moyens d'évaluation. — On est convenu d'évaluer tous les poids spécifiques par comparaison à un corps déterminé, et c'est l'eau qu'on a choisie pour établir ce rapport; d'un côté parce que c'est un liquide, et que dès lors il est toujours facile, par le principe d'Archimède, de connaître le poids d'un volume exactement égal à celui de tout autre corps; de l'autre, parce que ce liquide se trouve partout. Il est également convenu de ramener les évaluations à la température de 18° centigrades et à l'eau distillée. Les nombres indiqués dans les tables expriment donc que les corps auxquels ils se rapportent sont deux fois, trois fois..., vingt fois, etc., plus pesants que l'eau sous le même volume, ou qu'ils pèsent la moitié, le tiers, le quart, etc., de ce liquide.

Pour prendre le poids spécifique d'un corps, on le pèse d'abord dans l'air pour avoir son poids réel, puis on le pèse dans l'eau pour connaître la perte qu'il y fait, ce qui donne le poids d'un volume d'eau égal au sien, et on prend le rapport des deux nombres. C'est ainsi qu'ont été construites les tables de poids spécifiques.

Observations. — Il faut remarquer que le poids spécifique varie dans le même corps avec les diverses structures qu'il peut avoir, parce que ces stuctures déterminent toujours de petits vides accidentels plus ou moins nombreux. Ce sont en général les petits cristaux qui donnent les poids spécifiques les plus forts, les gros étant formés par des groupements qui déterminent également des vides. Pour avoir des poids comparables, le moyen le plus sûr est de réduire toujours ces corps en poudre grossière qu'il convient d'imbiber d'eau chaude pour dégager les bulles d'air qui pourraient y adhérer. Par ce moyen, on obtient toujours le même poids spécifique, quelle que soit la variété du corps sur lequel on opère.

Pour les usages de la vie, c'est le poids spécifique sous la structure réelle qu'il faut avoir, parce que c'est là ce dont on a besoin pour calculer, par exemple, le poids d'un volume déterminé d'un corps qu'on doit employer pour une construction. Dans ce cas, si le corps est susceptible de s'imbiber d'eau, il faut le peser après

l'imbibition complète, pour reconnaître le poids de l'eau dont il a été pénétré, et ajouter ce poids à la perte observée.

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME.

§ 108. **Peu d'importance de l'électricité.** — Toutes les substances minérales sont susceptibles de s'électriser, soit par l'un, soit par l'autre des moyens connus, et elles diffèrent en général les unes des autres, soit sous le rapport de la faculté conductrice, soit sous celui de l'espèce d'électricité acquise, ou du plus ou moins de facilité à l'acquérir, et enfin du temps pendant lequel elles la conservent.

Cependant ces caractères ont peu d'importance par suite de la difficulté que l'on trouve aujourd'hui à expliquer les nombreuses exceptions qu'ils présentent. Par le frottement, les variétés cristallines ne prennent pas toujours la même espèce d'électricité que celles qui sont produites par agrégations irrégulières. Il arrive encore que deux cristaux de la même substance prennent des électricités différentes, et qu'un même cristal acquiert par le frottement de l'une de ses faces une espèce d'électricité, tandis que par le frottement de l'autre il acquiert une électricité opposée.

Sous le rapport de la facilité à s'électriser il y a de grandes différences dans les corps; il en est, comme le spath d'Islande et la topaze, qu'il ne faut pour ainsi dire que toucher, tandis que d'autres ne s'électrisent qu'avec la plus grande difficulté. Ceux que nous venons de citer conservent la vertu électrique acquise pendant plusieurs jours; et d'autres, comme le quarz et le diamant, la perdent pour ainsi dire aussitôt. Ces faits seraient sans doute fort importants, mais ils présentent des exceptions analogues aux précédentes.

On ignore jusqu'à présent à quoi tiennent toutes ces différences; seulement il est à présumer qu'elles sont en rapport avec l'état des surfaces, qu'on ne sait pas suffisamment apprécier, ou en général avec l'état moléculaire du corps.

§ 109. **Électricité polaire.** — Un des phénomènes les plus remarquables est la propriété, qu'on trouve dans certaines substances, de manifester l'état électrique par une température uniformément croissante, en présentant alors une espèce d'électricité à l'une des extrémités et une espèce différente à l'autre, ou, comme l'on dit, en offrant des pôles électriques. Une température uniformément décroissante détermine les mêmes effets; mais alors les pôles se trouvent renversés.

Ce qui est remarquable, c'est la relation de ces phénomènes avec les circonstances cristallographiques. Les substances qui présentent l'électricité polaire (boracite, tourmaline, etc.) offrent cette particularité que les deux pôles, qui sont géométriquement identiques, présentent des modifications tout-à-fait différentes, § 45. Cette singularité conduit à admettre des constitutions moléculaires particulières qui sont peut-être la cause du phénomène électrique.

§ 110. **Électrosope.** — Malgré le peu d'importance de la plupart des phénomènes électriques, rappelons cependant les moyens d'observation. Pour reconnaître si un corps est électrisé, il suffit de le présenter à un corps mobile à l'état naturel, qui est alors attiré. Pour connaître l'espèce d'électricité, il faut donner au corps mobile une électricité connue : si alors le corps électrisé exerce une répulsion, il a la même électricité que celle de l'instrument; s'il exerce une attraction, il possède l'électricité contraire.

§ 111. **Magnétisme.** — L'action sur le barreau aimanté est extrêmement limitée, car jusqu'ici il n'y a que le fer qui se trouve dans la nature à des états où il puisse produire quelque effet. A l'un de ces états il agit purement par attraction et de la même manière sur l'un et l'autre pôle : il est attirable. Sous les autres états (oxyde noir et sulfure magnétique) le même point du minéral agit par attraction sur l'un des pôles et par répulsion sur l'autre ; c'est-à-dire que le minéral a lui-même des pôles.

ACTION SUR LE TOUCHER.

§ 112. **Faculté conductrice.** — Les substances minérales ont pour la chaleur des facultés conductrices fort différentes; de là résulte que, placées dans la main, elles produisent des impressions de froid plus ou moins marquées, dont on peut souvent se servir pour les distinguer. On ne confondra jamais, par exemple, le cristal de roche et le verre ; le premier produisant une impression de froid qui se prolonge, le second produisant une sensation moins vive et de plus courte durée. Le diamant, le saphir ou le rubis, la topaze, les carbonates et sulfates de chaux, le succin (ambre jaune), les bitumes, les matières charbonneuses, offrent sous ce rapport des différences très tranchées qui ne peuvent manquer de les faire reconnaître. Avec de l'habitude, on parvient par ce moyen, auquel se joint alors le poids spécifique, à distinguer un grand nombre de substances sans même les regarder.

Il y a aussi des corps qui produisent une impression de chaleur;

mais cette impression est le résultat d'une action chimique, produite par des acides libres qui se trouvent dans diverses matières en décomposition, et principalement dans celles qui proviennent des solfatares.

§ 113. **Onctuosité, âpreté.** — Il existe des corps qui présentent au toucher une onctuosité remarquable, et particulièrement ceux qui renferment une grande quantité de magnésie. Cette propriété est surtout très développée dans la substance qu'on nomme *stéatite*, précisément à cause de cela, et dont on emploie la poussière pour faire glisser les bottes : elle se retrouve à des degrés moindres dans beaucoup d'autres matières, telles que le *graphite*, dont on fait les crayons dits de mine de plomb, dans diverses espèces d'argiles, etc. ; et, ce qui est assez important, elle varie peu dans la même substance, de sorte qu'avec de l'habitude on peut assez facilement en reconnaître plusieurs par ce moyen.

Il y a aussi beaucoup de corps qui, soit en masse, soit en poussière, sont au contraire *âpres au toucher*, et que dès lors il est impossible de confondre avec les précédents.

On distingue comme intermédiaires des corps *maigres au toucher*. Ce sont le plus ordinairement des matières avides d'eau qui enlèvent à l'instant le peu d'humidité qui se trouve sur les doigts, et dès lors produisent une rudesse particulière. Ces matières se distinguent quelquefois par le *happement* à la langue, sorte d'adhérence qu'elles contractent avec l'organe en s'emparant rapidement de son humidité naturelle.

ODEUR ET SAVEUR.

§ 114. **Odeurs propres.** — Les odeurs sont plus fréquentes et plus nombreuses dans le règne minéral qu'on ne le pense habituellement; et il y a un grand nombre de corps qu'on peut distinguer par ce moyen, qui nous sera surtout très utile dans les essais chimiques. Il y a des odeurs propres et des odeurs accidentelles : les unes et les autres se présentent tantôt immédiatement, tantôt par frottement, par élévation de température ou par combustion.

Les odeurs propres immédiates sont fournies par le naphte et le pétrole, le chlore, l'acide sulfureux, et même par certains métaux qui se distinguent facilement par ce moyen, comme l'étain, le fer et le cuivre. Beaucoup d'autres corps produisent une odeur caractéristique par la combustion, comme le soufre et les sulfures, le sélénium, qui produit une odeur de raifort, l'arsenic, qui donne une

odeur d'ail très prononcée, le succin et diverses matières résineuses, qui donnent des odeurs tantôt agréables, tantôt fétides; les bitumes, qui offrent une odeur *sui generis*.

Le frottement produit aussi le dégagement de certaines odeurs, comme dans quelques variétés de succins, dans le quarz et toutes les matières siliceuses, qui, frottées l'une contre l'autre, produisent toujours une odeur particulière capable de les faire reconnaître. L'insufflation développe aussi diverses variétés d'odeurs sur plusieurs substances terreuses; on ne confondra pas, par exemple, au moyen de ce caractère, la craie, le tripoli, la magnésie terreuse, la terre de Cologne, etc.

§ 115. **Odeurs accidentelles.** — Beaucoup de matières offrent des odeurs qui sont dues à des corps étrangers mélangés ou retenus dans leurs pores. Il en est qui se dégagent aussitôt que la matière est sortie du sein de la terre, et qui disparaissent après un certain temps; mais le plus souvent c'est par le frottement qu'elles se manifestent. Beaucoup de pierres calcaires dégagent alors une odeur fétide, bitumineuse et animale, comme cela a lieu dans l'espèce de marbre nommé *petite granite*, dont la plupart de nos meubles sont aujourd'hui couverts. Dans quelques autres matières, c'est une odeur d'hydrogène sulfuré, et même d'hydrogène arsénié. Ces odeurs sont souvent attribuées à la décomposition des matières organiques qui ont été enfouies dans le sein de la terre : mais il est à remarquer qu'il s'en produit d'analogues dans des substances, même cristallines, qui se trouvent dans les terrains de cristallisation, vraisemblablement produits par le feu, et que dès lors elles y sont dues à d'autres causes.

§ 116. **Saveurs.** — Il ne peut exister de saveur que dans des matières solubles, dont il ne se trouve qu'un très petit nombre dans la nature, parce qu'elles sont tôt ou tard dissoutes par les eaux. Ainsi ce caractère, si utile pour la distinction des sels artificiels, devient peu important pour la minéralogie. Nous nous contenterons d'indiquer la saveur acide que certaines eaux empruntent aux acides sulfurique et hydrochlorique, la saveur salée que présente le sel commun, la saveur astringente des sulfates d'alumine, de fer, de zinc, de cuivre, qu'on rencontre çà et là en efflorescence, et la saveur alcaline du sous-carbonate de soude.

DÉLIQUESCENCE ET EFFLORESCENCE.

§ 117. La déliquescence est la faculté que possèdent certains corps d'attirer l'humidité de l'atmosphère et de se dissoudre à me-

sure dans l'eau qui en résulte. Le sel commun est légèrement déliquescent; mais il y a beaucoup de sels qui le sont fortement, et c'est sans doute pour cela qu'on ne les trouve pas à la surface de la terre : ils sont tous entraînés dans les mers, où la plupart se trouvent à l'état de chlorure.

L'efflorescence est la propriété qu'on trouve dans d'autres corps de tomber en poussière; souvent elle est due à la perte d'une certaine quantité d'eau en proportion définie, et par conséquent à un changement chimique : c'est ce qui a lieu, par exemple, dans les carbonates, sulfates et phosphates de soude. Mais il y a des cas où il n'en est pas ainsi, et où le corps tombe en poussière sans rien perdre de sa composition. On suppose qu'alors le phénomène est dû à un changement dans l'arrangement géométrique des molécules, en se fondant sur ce que les sels soumis à des cristallisations forcées ne peuvent conserver longtemps leur forme, et que plusieurs autres, soumis à une température plus ou moins élevée, présentent dans leur intérieur des fissures dirigées sous un nouveau système de cristallisation, qui en diminuent la cohésion et permettent bientôt la réduction en poussière. § 48, 49.

COMPOSITION CHIMIQUE DES MINÉRAUX.

§ 118. **Corps simples naturels.** — Quelques uns des corps que l'on considère comme simples dans l'état actuel de la science se trouvent assez fréquemment à l'état libre, ou, suivant l'expression reçue, à l'*état natif*, dans la nature. Tels sont aujourd'hui :

Antimoine,	Carbone,	Oxygène.
Argent,	Chlore,	Palladium.
Arsenic,	Cuivre,	Platine.
Azote,	Mercure,	Soufre.
Bismuth,	Or,	Tellure.

Tous les autres n'ont jamais été observés qu'à l'état de combinaison, deux à deux, trois à trois, etc.; et c'est par l'art qu'on est parvenu à les obtenir à l'état de pureté. Ces combinaisons extrêmement variées constituent un très grand nombre de corps dont le minéralogiste doit s'occuper.

Il y a trois parties essentielles dans les recherches qui sont nécessaires pour arriver à connaître et à comparer les compositions diverses que peuvent présenter les minéraux :

1° L'*essai chimique*, qui conduit à connaître la nature et le nombre des éléments qui constituent un corps;

2° L'*analyse*, qui a pour objet de déterminer en poids les quantités relatives de chacun des corps;

3° La *discussion des analyses*, qui, en partant des lois générales reconnues dans la combinaison des corps, a pour objet d'éliminer ce qu'il peut y avoir d'accidentel.

§ 119. **Corps électro-positifs et électro-négatifs.** — Rappelons les principes les plus généraux de la composition des corps. Lorsque, par l'action de la pile voltaïque, on vient à détruire une combinaison, on observe toujours que l'un des composants, soit simple, soit même formé de plusieurs éléments, se porte au pôle positif, et l'autre, au contraire, au pôle négatif : d'où l'on conclut que le premier possède par lui-même l'électricité négative, en vertu de laquelle il se trouve attiré et fixé au pôle positif, tandis que l'autre possède l'électricité positive. D'après cela, on a nommé les premiers corps *électro-négatifs*, et les autres corps *électro-positifs*. La combinaison a été regardée comme le résultat de cette opposition, et l'on a conçu qu'il y avait combinaison entre deux corps toutes les fois que l'un pouvait être électro-négatif par rapport à l'autre, qui est alors électro-positif.

Les matières éminemment électro-négatives sont, parmi les corps simples : l'*oxygène*, le *chlore*, le *brome*, l'*iode*, le *fluor*, l'*arsenic*, le *sélénium*, l'*antimoine*, le *tellure*, le *mercure*, etc., dont le premier est le plus énergique. Parmi les corps oxygénés, ceux qui renferment le plus d'oxygène sont le plus souvent électro-négatifs par rapport à ceux qui en renferment le moins ; ceux qui sont doués des propriétés acides sont généralement les plus énergiques et se combinent avec la plupart des autres.

D'après cela, on distingue toujours deux sortes de corps dans une combinaison, quelque compliquée qu'elle soit : les *corps électro-négatifs*, qu'on nomme souvent *acides* dans les corps oxygénés; et les *corps électro-positifs*, qu'on nomme généralement *bases*.

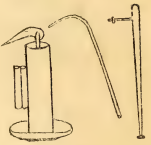
ESSAI CHIMIQUE DES MINÉRAUX.

§ 120. **Observations générales.** — Les opérations nécessaires pour reconnaître la nature des corps peuvent toujours se faire sur des parcelles infiniment petites, de manière à n'avoir besoin que d'une petite table pour tout laboratoire, à n'employer qu'une goutte d'acide quand cet agent est nécessaire, à évaporer en quelques minutes les liquides surabondants, sans en redouter les vapeurs. Sous ces conditions, les essais les plus compliqués peuvent

se faire partout et dans un temps très court, que l'habitude de distinguer les minéraux peut même infiniment réduire. Les instruments, les vases, les réactifs se réduisent alors à de si petites proportions, qu'on peut avec facilité les transporter en voyage.

Instruments. — Pour opérer la fusion des corps, soit seule, soit avec des réactifs, on se sert du *chalumeau*, ou tube courbé employé par beaucoup d'ouvriers pour souder les métaux; on en dirige la pointe sur la flamme d'une lampe ou d'une chandelle, et, en soufflant, on projette un dard de flamme extrêmement actif, fig. 366, devant lequel un grand nombre de corps peuvent se fondre. Le chalumeau, formé d'un tube conique de fer-blanc et d'un petit tube transverse placé à une certaine distance du fond, fig. 367, est très convenable, parce que s'il s'introduit un peu de salive elle n'est pas projetée sur la pièce d'essai : en renversant le tube, elle s'égoutte facilement.

366. 367.



Pour chandelier on peut avoir un tube de fer-blanc rempli par un ressort à boudin, fig. 368, au-dessus duquel on place un bout de chandelle dont la mèche vient sortir par l'ouverture. La partie supérieure de ce tube doit présenter une cavité qu'on remplit de suif destiné à préserver la chandelle d'une trop grande chaleur.

368.

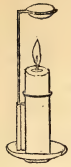
Remarquons qu'en chauffant un corps à l'extrémité du jet de flamme au contact de l'air, on l'oxyde de plus en plus s'il en est susceptible; en le chauffant, au contraire, dans l'intérieur de la flamme, dont il se trouve alors entouré de toutes parts, le corps se désoxyde. Ces deux manières d'opérer se distinguent, la première sous le nom de *feu d'oxydation*, la seconde sous le nom de *feu de réduction*.

Pour soumettre un corps à l'action du feu, on le place quelquefois à l'extrémité d'une pince, fig. 369, formée d'un fil de fer tourné de manière à faire ressort, et dont les extrémités sont terminées par des fils de platine. Plus souvent encore on place le corps sur un *charbon*, ou bien sur une feuille mince de platine qu'on emboutit en forme de capsule à une de ses extrémités, pour opérer plus facilement avec les réactifs. Quelquefois alors on emploie de très petites coupelles, qu'on place dans un trou du charbon, et sur lesquelles on met la matière d'essai avec le fon-

369.

dant. Ce procédé a l'avantage de pouvoir conserver le résultat de l'essai en collant la coupelle sur un carton.

370.



Quand il s'agit d'évaporer des liquides, on se sert de très petites capsules minces de porcelaine, ou mieux de platine, qu'on place sur un support en fil de fer courbé à angle droit, et terminé en anneau, qui peut s'adapter au chandelier par sa portion verticale, fig. 370.

371.

Si l'on a besoin de traiter une substance à chaud par un acide, on emploie, pour éviter une évaporation trop rapide, un *petit matras* en verre soufflé, fig. 371, ou simplement un tube droit fermé à l'extrémité ; on soutient ce tube auprès de la flamme de la chandelle au moyen d'une pince de fil de fer fixée à un bouchon, *a*, qu'on enfile sur la branche du support précédent.

372.

373.

Pour récolter les matières susceptibles de se sublimer par la chaleur, on emploie des tubes courbés et fermés à l'extrémité la plus courte, fig. 372, où l'on place la pièce d'essai : on chauffe alors cette partie plus ou moins, et la matière volatilisée se condense à la partie supérieure qu'on tient à la main.

Souvent les matières renfermées dans le corps ne sont pas immédiatement volatiles, mais peuvent le devenir par l'oxydation ; on emploie alors un tube ouvert, fig. 373, à l'extrémité inférieure duquel on place le corps, et on le chauffe au feu d'oxydation. La matière volatile formée se porte alors vers la partie supérieure, s'y dépose, ou se fait reconnaître par son odeur.

374.

Qand on a indispensablement besoin de filtrer, ce qu'on doit en général éviter, on se sert d'un très petit entonnoir de verre soufflé dans lequel on place un cornet de papier. On soutient l'entonnoir sur un fil de fer coudé et terminé en anneau, qu'on fixe dans une plaque de liége qui sert de support à la capsule où l'on reçoit le liquide clair, fig. 374.

375.

On évite presque toujours la filtration en tirant le liquide à clair ; pour cela on met dans la capsule qui le renferme une petite bande de papier joseph, *a*, fig. 375, qui fait alors l'office de siphon. Quand on veut laver un précipité, on place une capsule d'eau distillée au-dessus de la première et on établit l'écoulement par un autre siphon

Joignons à ces petits instruments un très petit verre à patte, dont on a rarement besoin, quelques verres de montre, des lames de verre, de cuivre, d'étain, de zinc et de fer dont nous verrons plus tard l'usage; enfin quelques petits tubes en verre plein, pour agiter. Un petit marteau n'est pas inutile; mais on peut toujours y suppléer; il en est de même d'un petit mortier d'agate pour pulvériser les corps durs.

On se procurera enfin la série des réactifs dont nous allons nous servir et dont la plupart peuvent être pris, si l'on veut, à l'état solide.

§ 121. **Conduite générale des essais.** — Pour arriver le plus promptement possible à la connaissance de la composition d'un corps, il est nécessaire de suivre une marche régulière dans les essais qu'il faut tenter. Parmi toutes les méthodes qu'on peut imaginer, j'ai préféré celle qui consiste à chercher d'abord la nature du corps électro-négatif que peut renfermer la substance et à procéder ensuite à la recherche des bases. Je ne me suis pas borné uniquement à employer la voie sèche ou la voie humide; mais j'ai mêlé ces deux moyens d'exploration, pour lever les incertitudes de l'un ou de l'autre et éviter des longueurs ou des difficultés.

On commence souvent par essayer si le corps proposé est fusible ou infusible, ce qui suffit quelquefois pour se décider entre quelques substances à l'idée desquelles on a été conduit par la première vue du minéral. C'est ainsi, par exemple, qu'on peut se décider entre un rubis et un grenat, le premier étant infusible, le second fusible, ou bien entre le cristal de roche et l'émeraude incolore, qui sont dans le même cas; entre le platine et l'argent, etc. Mais cet essai ne dit rien de positif relativement à la nature du corps, qu'il faut examiner plus attentivement.

Les réactifs doivent être au plus grand degré de pureté possible, et il faut avoir la plus grande attention à ne pas les salir, soit en plaçant les bouchons au hasard sur des corps qu'ils pourraient enlever, soit en portant les tubes dont on se sert pour les prendre, d'un flacon dans l'autre, sans les avoir exactement nettoyés. Pour éviter ce dernier inconvénient, chaque bocal ou chaque flacon doit avoir son tube particulier, et fixé dans le bouchon même lorsque celui-ci est en liége : il faut alors avoir soin de remettre chaque bouchon à sa vraie place, et pour cela il convient de tout numéroter. On ne doit jamais toucher les liqueurs d'essai avec les tubes, et il faut y faire simplement tomber les réactifs.

Nous avons fait faire, pour renfermer les acides et les réactifs liquides, des flacons terminés en pointe, avec une ouverture ca-

376.

pillaire, qui se recouvrent par un capuchon de verre sur lequel ils sont rodés, fig. 376. Pour les remplir, il suffit de les chauffer et de plonger ensuite le bout dans le liquide. Pour s'en servir on les prend à la main, dont la chaleur suffit pour dilater l'air et faire tomber une goutte de liquide en les renversant. Ces flacons ne laissent dégager aucune vapeur lorsqu'on a soin de graisser le capuchon par en bas (1).

RECHERCHE DES CORPS ÉLECTRO-NÉGATIFS.

§ 122. — Il y a sept espèces d'essais principaux à faire pour parvenir à reconnaître la nature des principes électro-négatifs qui peuvent se rencontrer dans un composé naturel, d'après les connaissances que nous avons ; savoir :

1° Chauffer le corps dans le tube fermé ; on reconnaît alors :

Hydrates.	par des gouttelettes d'eau (2).
Hydrargures.	par des gouttelettes de mercure.
Oxyde d'antimoine. . .	par un sublimé blanc non cristallin, qu'on peut faire volatiliser, en chauffant, d'un point à l'autre du tube.

2° Chauffer dans le tube ouvert pour reconnaître ce que l'oxydation peut produire ; on distingue alors :

Séléniures.	par l'odeur de chou pourri.
Arsenic et arséniures.	par l'odeur d'ail.
Antimoine et antimoniures.	par des vapeurs blanches qui produisent un sublimé volatisable d'un point à l'autre du tube.
Tellure et telluriures.	par une vapeur blanche qui, après s'être déposée, peut être fondue sur le tube en gouttelettes limpides par la chaleur.
Soufre et sulfure. . . .	par l'odeur de soufre brûlé (3).

3° Chauffer dans le tube fermé, après avoir réduit le minéral en

---

(1) On trouvera des boîtes d'ustensiles et de réactifs chez MM. Boyveau et Pelletier, rue des Francs-Bourgeois-St-Michel, n° 8.

(2) On peut essayer cette eau en introduisant dans le tube une bandelette de papier réactif. Le papier de tournesol, en rougissant, indique un acide ; le papier Fernambouc, en prenant une belle couleur jaune, indique particulièrement l'acide hydrofluorique. Le curcuma rougit avec les alcalis.

(3) Certains sulfures ne produisent pas cet effet, et ne sont dès lors reconnus que par le quatrième essai.

poudre et l'avoir mêlé avec du charbon, dont l'effet est de désoxyder certains corps, on reconnaîtra :

Acide arsénieux. . . . . Arsénites et arséniates.	par l'odeur d'ail.
Acide sulfurique.	par l'odeur de soufre brûlé.
Quelques sulfates. . .	par la saveur d'œuf pourri.
Azotates.	parce qu'ils fusent (produisent l'effet d'une fusée) pendant l'opération (1).

4° Chauffer le corps avec un mélange de charbon et de sous-carbonate de soude, pour opérer une désoxydation et une nouvelle combinaison ; on distingue dans ce cas :

Sulfates et sulfures. .	par la saveur d'œuf pourri du résidu, ou le dégagement d'hydrogène sulfuré par l'action de l'eau acidulée (2).

5° Faire agir l'acide azotique, au moyen duquel on reconnaît :

Carbonates.	par l'effervescence qui se produit soit à froid, soit à chaud.
Quelques borates. . . .	par un résidu blanc qui donne à l'alcool la propriété de brûler avec une flamme verte.
Quelques silicates. . .	par la production d'une gelée qui n'est qu'un précipité gélatineux de silice.

6° Fondre le corps avec le double phosphate de soude et d'ammoniaque (3), pour reconnaître :

Fluor.	par des vapeurs qui corrodent le verre et jaunissent le papier de Fernambouc (si l'on opère dans le tube ouvert), ou par un anneau de corrosion autour de la pièce d'essai (dans le tube fermé).
Chlore.	par une flamme bleu pourpré qui se produit en fondant d'abord le double sel avec de l'oxide de cuivre, puis ajoutant la matière d'essai.
Brome	par une flamme bleue dans le même essai.
Iode.	par une flamme verte dans le même essai.

7° Chauffer, et quelquefois fondre réellement, avec le sous-carbonate de soude, pour décomposer certains sels par un échange de

---

(1) Quelques oxydes sont réduits dans ce traitement, mais nous ne nous servirons pas de ce caractère.

(2) Les sulfures produisent le même effet sans addition de charbon.

(3) L'ammoniaque est alors dégagée, et l'acide phosphorique, mis à nu, réagit sur le corps. Il y a ici essai par la voie sèche au moyen d'un acide.

base. L'acide du minéral se porte sur la soude et forme un nouveau sel, qui est soluble ou insoluble dans l'eau.

S'il se fait un sel soluble, on ajoute un peu d'acide à la solution, pour décomposer le sous-carbonate de soude surabondant, et on reconnaît ensuite :

Acide phosphorique. .	si la liqueur précipite en jaune par l'azotate d'argent.
Acide chromique. . . .	si elle précipite alors en rouge.
Acide vanadique.	si elle précipite en jaune qui blanchit promptement
Acides molybdique, tungstique et tantalique.	si la solution devient bleue sur une lame d'étain (1).
Silice (acide silicique). . .	si la solution, ne bleuissant pas sur une lame d'étain, donne un précipité blanc par l'addition d'un acide, soit immédiatement, soit pendant l'évaporation.

Si le résultat du traitement est insoluble dans l'eau, il peut se dissoudre plus ou moins facilement dans l'acide hydrochlorique; et l'on reconnaît ensuite :

Silice.	si la solution, évaporée et reprise par l'eau, laisse un résidu qui ne donne aucune couleur par la fusion avec le double phosphate.
Acide titanique.	si le résidu de ce traitement donne, avec le double phosphate, un verre bleu-violâtre au feu de réduction.
Alumine.	s'il ne fait pas de résidu, et si la solution donne par l'ammoniaque un précipité floconneux attaquable par la potasse caustique.

§ 123. **Notes sur ces essais.** — Nous réunirons ici quelques observations sur les essais que nous avons indiqués pour la recherche des corps électro-négatifs, et sur quelques autres qu'on pourrait faire.

1° En chauffant dans un tube fermé, on peut reconnaître aussi plusieurs autres corps; savoir :

Séléniures.	par un sublimé rouge.
Arsenic et arséniures.	par un sublimé de petits cristaux métalliques.
Acide arsénieux et arsénites.	par un sublimé de petits cristaux blancs.
Tellure et telluriures.	par un sublimé gris non cristallin.

(1) La solution précipite en blanc par un acide, et en essayant le précipité on peut distinguer les trois corps. L'acide molybdique produit un verre vert en le fondant avec le double phosphate de soude et d'ammoniaque. L'acide tungstique produit un verre bleu, et l'acide tantalique un verre incolore.

Mais ces corps se distinguent plus facilement par le second mode d'essai, § 122.

2° Dans le tube fermé, avec du charbon, on peut reconnaître les acides antimonieux et antimonique, qui donnent alors les caractères de l'oxide d'antimoine, § 122, 1°.

3° On pourrait faire un essai en chauffant le corps avec l'azotate de potasse, et on découvrirait alors :

Le carbone. . . . . parce que le mélange fuse pendant l'opération.
L'osmium. . . . . parce que la matière donne une vapeur blanche qui a l'odeur du chlore.

4° On pourrait essayer les corps par l'acide sulfurique dans le tube fermé, et on reconnaîtrait alors :

Le fluor. . . . . par des vapeurs incolores qui corrodent le verre.
L'iode. . . . . par les vapeurs violettes qui se dégagent lorsque le corps a été préalablement mêlé avec le peroxyde de manganèse.
Le chlore. . . . . par l'odeur particulière du gaz jaunâtre avec le même mélange.
Le brome. . . . . par les vapeurs rutilantes qui se dégagent avec ce mélange.
L'acide azotique. . . . . par les vapeurs rutilantes qui se dégagent lorsqu'on a ajouté de la limaille de cuivre.

5° Les chromites, traités au feu d'oxydation, produisent les mêmes résultats que les chromates, § 122, 7°. Pour les distinguer, il faut recommencer l'essai dans le tube fermé : la matière obtenue est verte pour le chromite, et jaune pour le chromate.

RECHERCHE DES BASES.

§ 124. — Les essais précédents auront déjà indiqué l'arsenic, l'antimoine et le sélénium, qui servent aussi quelquefois de bases principalement dans les sulfures. Pour les autres corps, il y a six sortes d'essais principaux à faire.

1° Chauffer la substance sur le charbon, au feu de réduction, pour reconnaître s'il y a du

Cadmium. . . . . par l'auréole orangée qui se forme dès le premier coup de feu.

2° Chauffer sur la feuille de platine avec le sous-carbonate de soude ; on reconnaît alors :

Manganèse.	si la matière fondue est d'un vert bleuâtre.
Chrome.	si la matière devient alternativement vert-pré au feu de réduction, et jaune au feu d'oxydation.

3° Fondre la matière avec le borax, après l'avoir préalablement grillée au feu d'oxydation ; on reconnaît alors les moindres traces de

Cobalt.	par la couleur bleue du verre qu'on obtient.

4° Traiter le minéral par l'acide azotique, soit immédiatement, soit après le traitement par le sous-carbonate de soude, § 122, 7°.

Si le corps renferme des matières non oxydées, on s'en aperçoit aussitôt par les vapeurs rutilantes qui se dégagent pendant la solution. Dans ce cas, la liqueur étant très acide et chaude, s'il se fait un précipité, il dénote la présence du *molybdène*, de l'*antimoine* ou de l'*étain*.

Molybdène.	s'il a les caractères de l'acide molybdique, § 122, 7°.
Antimoine.	s'il a les caractères des oxydes d'antimoine, § 120, 2°
Étain.	si ce précipité ne peut être ici volatilisé ni fondu.

La solution faite, on y reconnaît facilement les diverses bases :

Bismuth.	si une goutte de la solution projetée dans l'eau la blanchit à l'instant.
Argent.	si une goutte portée sur une lame de cuivre y forme un précipité blanc cristallin métallique.
Mercure.	s'il se fait alors un précipité gris qui se réunit en gouttelettes ou s'amalgame au cuivre, auquel il donne l'éclat de l'argent. Ce précipité est volatil au feu, et s'il s'est déposé de l'argent, celui-ci reste seul.
Cuivre.	si la solution laisse précipiter du cuivre sur une lame de fer.
Nickel.	si la liqueur qui a séjourné sur une lame de fer se colore immédiatement en bleu par l'addition de l'ammoniaque.
Zinc.	si la même liqueur donne par l'ammoniaque un précipité blanc qui se redissout par un excès de cet alcali (1).

(1) Le cadmium se précipiterait et se redissoudrait de même ; mais d'abord on aurait reconnu sa présence, § 124, 1°, et en outre la potasse et la soude le précipiteraient d'une manière permanente : ce qui n'a pas lieu pour le zinc.

Après ces essais, on placera différentes gouttes de la solution primitive sur de petits verres de montre ou sur une lame de verre légèrement graissée; on reconnaîtra alors :

Fer.	si quelques parcelles de ferro-cyanate de potasse déterminent un précipité bleu (1).
Plomb, baryte et strontiane.	si quelques parcelles d'un sulfate quelconque déterminent un précipité banc.
Plomb	si le précipité noircit par l'addition de quelques parcelles de sulfhydrate de soude.
Baryte.	si le précipité ne noircit pas, et si une goutte de la solution primitive, fortement étendue d'eau, continue encore à précipiter par le sulfate.
Strontiane.	si la solution très étendue ne précipite plus.
Alumine.	si l'ammoniaque en excès, ajoutée au reste de la liqueur, donne un précipité blanc, floconneux et permanent, qui se dissout dans la potasse caustique (voyez § 125, 2°).
Chaux.	si la liqueur ammoniacale qui surnage précipite immédiatement par l'oxalate d'ammoniaque, même lorsqu'elle est chaude (2).
Magnésie.	si le liquide, après s'être éclairci à chaud, se trouble de nouveau en refroidissant.

5° Rechercher les alcalis. Pour reconnaître la potasse, la soude, la lithine, il ne faut avoir employé aucun de ces corps pendant les opérations. Dès lors, si le minéral n'est pas immédiatement attaquable par un acide, il faut le disposer à l'action en le fondant avec le carbonate de baryte.

La solution faite et suffisamment étendue, on ajoute du carbonate d'ammoniaque, qui précipite tout, à l'exception des alcalis. On filtre, on évapore, on calcine au rouge, et, s'il reste quelque chose dans la capsule, c'est un des trois alcalis, savoir :

La potasse.	si la solution de chlorure de platine concentrée, portée sur une partie du résidu, détermine un précipité jaune.

(1) La plupart des autres métaux se précipitent en même temps, mais la couleur bleue produite par la présence du fer domine toutes les autres.

(2) La baryte, la strontiane, le cuivre, le nickel, le zinc, pourraient exister dans la liqueur ammoniacale. Il faudrait alors éliminer d'abord les deux premiers corps par un sulfate, et les deux suivants par la potasse : la solution ne renfermerait plus alors que du zinc, qui, par l'addition de l'oxalate, ne précipite que longtemps après la magnésie, quand la liqueur s'évapore.

La lithine. . . . . si la substance a taché la feuille de platine pendant la calcination, et si une goutte de carbonate d'ammoniaque étendue sur elle détermine un précipité blanc.

La soude. . . . . si aucun de ces effets ne se produit.

Quand il y a mélange des alcalis, il devient difficile de les distinguer dans ces essais.

Certains sels solubles renferment de l'ammoniaque, dont la présence est facilement reconnue par l'addition de quelques parcelles de potasse caustique qui en dégage les vapeurs.

6° Examiner les corps non attaqués par les moyens précédents.

Ces corps sont surtout l'or et le platine, le premier d'une belle couleur jaune, le second de couleur plombée. L'un et l'autre sont attaqués par l'*eau régale*. La solution d'or précipite en pourpre par le protochlorure d'étain; celle du platine précipite en jaune par un sel de potasse.

Le platine, dans le minérai de platine, est allié ou mélangé avec diverses substances qu'on ne peut pas encore caractériser dans les petits essais.

§ 125. **Notes sur la recherche des bases.** — Nous n'avons indiqué, dans les essais destinés à la recherche des bases, que les substances qui sont communes dans la nature. Si l'on avait affaire à d'autres matières, on pourrait éprouver des embarras dont nous parlerons ici.

1° Dans le traitement par l'acide azotique, il pourrait se trouver :

Du palladium. . . . . Il précipite sur la lame de cuivre; mais la solution est rouge et précipite en noir par le chlorure d'étain.

De la thorine. . . . . Elle se manifesterait par l'ébullition, après l'addition d'un sulfate, car le sulfate de thorine se précipite à 100°.

2° Dans l'essai de solution par l'ammoniaque en excès, le précipité peut renfermer un grand nombre de substances, qui n'ont pas été indiquées, telles que :

La glucine. . . . . Elle est enlevée avec l'alumine dans la solution potassique, qu'il faut alors saturer par un acide, pour traiter de nouveau par l'ammoniaque.

Si le précipité est l'alumine pure, en y mettant une goutte de nitrate de cobalt et calcinant, il prend une belle couleur bleue. Si c'est de la glucine pure, la couleur devient noire : s'il y a mélange, on obtient un bleu sale.

L'urane.	Le précipité, ou le minéral même, donne au feu de réduction un verre vert avec le double phosphate. La solution première précipite en rouge foncé par le ferro-cyanate de potasse.
Le cérium.	Le résidu de l'action de la potasse peut renfermer ces trois substances. Repris par l'acide azotique, puis desséché pour chasser l'excès d'acide, et redissous dans l'eau, il donne un précipité blanc par l'oxalate d'ammoniaque.
La zircone.	
L'yttria.	

Pour la première, ce précipité devient brun-cannelle par calcination, et forme, avec le double phosphate, un verre rouge à chaud, et incolore à froid. Pour les autres le précipité ne brunit pas: il forme pour l'une un verre incolore opaque avec le double phosphate; pour l'autre un verre transparent.

3° Nous ne parlerons pas des réunions fortuites qu'on pourrait rencontrer; car alors les précipités pourraient être très compliqués, et, pour arriver à quelques résultats, il faudrait posséder des connaissances chimiques très étendues, qu'on ne peut acquérir que par des études appronfondies.

ANALYSE DES MINÉRAUX.

§ 126. **Nécessité.** — Lorsqu'un corps est simple, l'essai chimique suffit toujours pour le distinguer de tous les autres; mais il n'en est pas de même lorsqu'il est composé, car le nombre et la nature des matières réunies ne suffisent pas pour le caractériser: il faut en connaître les quantités relatives. Par exemple, personne ne confondra le sucre et l'esprit de vin, et cependant ils sont l'un et l'autre uniquement composés de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, et il n'y a de différence que dans le rapport des quantités. La même chose a lieu dans les minéraux; il en est beaucoup qui sont formés des mêmes éléments, et qui présentent des différences aussi marquées que les deux corps précédents: d'où il résulte que, pour les caractériser chimiquement, il faut savoir séparer exactement les matières, peser chacune d'elles, et rapporter tout à l'unité, pour établir la comparaison sous ce point de vue. C'est ainsi qu'on peut distinguer le minium et le jaune de plomb, si différents à l'extérieur, quoique formés des mêmes éléments; savoir:

Jaune de plomb.	Oxygène.	0,07	Minium.	Oxygène.	0,10
	Plomb.	0,93		Plomb.	0,90
		1,00			1,00

§ 127. **Moyens généraux.** — L'analyse se fait à peu près comme les essais, seulement avec des précautions qu'on pouvait alors négliger. Il faut peser exactement une certaine quantité de minéral ordinairement réduit en poussière très fine, et avoir soin de n'en rien perdre dans le cours des opérations. Après l'avoir calcinée, si l'on y a reconnu de l'eau, et pesée de nouveau pour constater la perte, qui est le poids du liquide, on attaque par l'acide nitrique, par l'eau régale, ou par fusion préalable avec la soude, etc.; puis on recueille successivement, par filtration, les précipités qu'on peut former dans la solution; on les lave soigneusement en faisant passer une suffisante quantité d'eau sur les filtres; on dessèche convenablement ces filtres, on les pèse exactement avec la matière qu'ils supportent, et l'on défalque le poids du papier, qu'on a dû peser auparavant. On recueille alors la liqueur filtrée et toutes les eaux de lavage, et on fait évaporer convenablement pour provoquer ensuite d'autres précipités sur chacun desquels on opère de même.

Le point principal est de bien conduire les opérations successives, d'employer des réactifs qui séparent en totalité une substance déterminée, et qui n'entraînent aucune partie des autres. C'est en cela que consiste la difficulté, et les moyens que nous avons employés dans les essais ne suffisent pas toujours. En effet, tant qu'il ne s'agit que de découvrir la présence d'un corps, peu importe que le précipité en entraîne d'autres, pourvu que ceux-ci soient masqués et que celui qu'on cherche se manifeste clairement. Il n'en est plus de même dans l'analyse, et il y a des cas où il faut tout le talent d'un chimiste consommé pour parvenir à une séparation exacte des éléments. Heureusement, beaucoup de cas aussi n'exigent que les plus simples éléments de la science, et ce sont généralement ceux qui se présentent le plus fréquemment dans les usages de la vie. Ainsi, l'analyse des pierres calcaires, des marnes, des argiles et des terres arables, des silicates les plus communs, des scories des usines, des minerais de fer, de cuivre ou de plomb, des sels employés dans les arts, des alliages les plus utiles, etc., peut se faire toujours avec facilité; ces corps, en effet, ne renferment que des matières parfaitement connues, dont la séparation se fait toujours assez nettement. Nous en donnerons quelques exemples.

§ 128. 1° **Analyse de marne.** — Cinq grammes d'une marne, ayant été desséchés à la température de l'eau bouillante. ont perdu 345 milligrammes, probablement formés entièrement d'eau.

Cinq autres grammes, traités par l'acide azotique étendu, ont

fait effervescence pendant quelque temps et ont laissé un résidu argileux qui, lavé, puis desséché à 100°, pesait 3 g, 879.

Il résulte de ces opérations que le carbonate de chaux enlevé par l'acide est de 0 g. 776, de sorte que cette marne se compose de :

Caabonate de chaux.	0,776 ou pour 1.	0,1552
Argile et eau.	4,224	0,8448
	5,000	1,0000

D'où l'on voit que cette matière, employée en agriculture, est plus propre aux terrains sableux qu'aux terrains argileux.

2° **Analyse de pierre calcaire.** — Cinq grammes d'une pierre calcaire ont été attaqués avec effervescence par l'acide azotique, et ont laissé un résidu de 15 centigrammes.

La solution traitée par l'ammoniaque a donné 204 milligrammes de peroxyde de fer qui offrait au chalumeau quelques traces de manganèse, § 124, 2°.

La liqueur, réunie aux eaux de lavage et suffisamment évaporée, a été traitée à chaud par du sous-carbonate d'ammoniaque et filtrée immédiatement; elle a donné un précipité de carbonate de chaux de 4 g, 098 représentant 2 g, 307 de chaux (1).

Enfin, après l'évaporation des eaux et la calcination au rouge, il est resté 217 milligrammes de magnésie; ainsi la pierre se compose de :

Matière insoluble.	0,150 ou pour 1. . . .	0,0300
Peroxyde de fer.	0,204	0,0408
Chaux.	2,307	0,4614
Magnésie.	0,217	0,0434
Acide carbonique conclu par différence.	2,122	0,4244
Total. . .	5,000	1,0000

3° **Analyse de la céruse.** — La *céruse*, ou *blanc de céruse* est un carbonate de plomb; mais on falsifie cette substance en y mélangeant de la *craie* ou *blanc de Bougival*, qui en diminue la valeur et enlève beaucoup de solidité à la peinture. Il est donc utile de savoir quelle est la nature de la matière qu'un ouvrier emploie dans le travail qu'on lui fait faire; en voici l'analyse :

Cinq grammes de matière attaqués par l'acide azotique étendu ont laissé 10 centigrammes de résidu.

La solution traitée par le sulfate de soude a donné un précipité de

(1) 100 de carbonate de chaux renferment 56,29 de chaux, de sorte que la proportion 100 : 56,29 :: 4,098 : $x = 2,307$ donne la quantité de chaux dans le cas présent.

sulfate de plomb pesant 4 g, 539 ; d'où l'on conclut 3 g, 338 d'oxyde de plomb (1), ou 4 g de carbonate (2).

Le liquide filtré, réuni aux eaux de lavage et évaporé, ayant été traité par le sous-carbonate d'ammoniaque, a donné 0 g, 902 de carbonate de chaux. Cette matière renferme donc :

Céruse pure, ou carbonate de plomb.		4	ou pour 1. . .	0,80
Craie. . . .	Carbonate de chaux. . . 0,90.	1	. . . . .	0,20
	Matière insoluble. . . . 0,10.			
		5		1,00

c'est-à-dire que la céruse est mélangée avec un quart de craie.

Quand la fraude se fait par un mélange de sulfate de baryte, celui-ci reste insoluble.

4° **Analyse d'une scorie de haut-fourneau.** — La matière a été fondue avec la soude après avoir été réduite en poudre très fine, et le résultat traité par l'acide azotique. Les cinq grammes ont donné alors, après l'ébullition, 1 g, 27 de silice.

L'ammoniaque a fait un précipité de peroxyde de fer qui, après avoir été lavé et traité par la soude, puis lavé de nouveau et séché, pesait 2 g, 737.

La liqueur ammoniacale, réunie à ses eaux de lavage, a donné, par le carbonate d'ammoniaque, un précipité de carbonate de chaux de 1 g, 805, ou 1 g, 016 de chaux.

Les eaux sodiques évaporées, puis saturées d'acide et traitées par le sous-carbonate d'ammoniaque, ont donné un précipité d'alumine de 203 milligrammes. Le résultat de l'analyse est donc :

Silice.	1,270
Peroxyde de fer.	2,737
Alumine.	0,203
Chaux.	1,016
Total.	5,226

L'augmentation de poids fait voir que le fer était ici à l'état de protoxyde, dont il faut alors réduire la quantité à 2,511.

Ce résultat montre qu'il faut modifier les opérations de l'usine, en ajoutant au minerai ce qu'on nomme de la *castine* (carbonate de chaux), afin de saturer la silice et d'éviter la perte en fer. L'analyse des minerais et celle de la castine du lieu détermineraient positivement la quantité de fondant à employer.

Ces exemples, joints aux observations que nous avons faites à

(1) 100 de sulfate de plomb renferment 73,56 d'oxyde de plomb. On a la quantité d'oxyde, dans le cas présent, par la proportion 100 : 73.56 : : 4,539 : x.

(2) 100 de carbonate de plomb renferment 85,46 d'oxyde de plomb ; de sorte qu'on fait la proportion 85,46 : 100 : : 3,338 : x.

l'égard des essais, doivent suffire pour montrer comment on doit s'y prendre dans la plupart des cas ordinaires.

ÉNONCIATION ET COMPARAISON DES ANALYSES.

§ 129. **Difficulté de s'exprimer.** — Tant qu'il ne s'agit que des usages de la vie, on ne sent pas le besoin d'exprimer les compositions autrement que par les poids mêmes qui sont fournis par l'analyse; mais quand on considère les corps bruts sous le point de vue scientifique, on reconnaît bientôt, quand ils sont en grand nombre, qu'il est impossible de les comparer les uns aux autres en s'exprimant en poids, parce que les rapports sont trop compliqués. Par exemple, quoiqu'on aperçoive de grandes différences dans les compositions suivantes, il est difficile de les énoncer de manière à en donner, et par conséquent à s'en faire une idée bien nette.

	1re *analyse.*	2e *analyse.*	3e *analyse.*
Soufre.	0,192	0,162	0,173
Cuivre.	0,189	0,318	0,455
Plomb.	0,619	0,520	0,372

Aussi pendant longtemps a-t-on fait peu d'attention à la composition chimique, et s'est-on contenté de comparer les corps par des caractères extérieurs : ce n'est que du moment où l'on a connu les lois suivant lesquelles les corps se combinent qu'on a pu réellement en tirer tout le parti convenable. Voici les faits :

§ 130. **Lois de combinaison.** — L'ensemble de toutes les observations fait voir que les corps, simples ou composés, se combinent entre eux dans un certain nombre de proportions nettement déterminées, qui n'admettent aucun intermédiaire et qui ont entre elles des rapports simples, du moins quand il s'agit des minéraux. Par exemple, on reconnaît par expérience que :

100 d'oxygène sont combinés à 201,20 de soufre (acide hyposulfurique).
200 . . . . . 201,12 . . . . . (acide sulfureux).
300 . . . . . 201,18 . . . . . (acide sulfurique).
100 d'oxygène se combinent à 395,69 de cuivre.
100 . . . . . 791,39 (2 fois 395,69).
200 395,68
100 de soufre se combinent à 393,39 de cuivre.
200 395,58
100 de silice se combinent à 184,99 de chaux.
200 184,98
300 184,98

C'est-à-dire qu'une quantité déterminée de base, ou le double de cette quantité, se combine à une certaine quantité de corps électro-négatifs, ou bien à deux fois, à trois fois, etc., cette quantité : c'est un fait d'analyse inorganique que toutes les observations confirment.

Énonciation atomique. — On exprime ce fait d'une manière plus commode pour l'énonciation et pour la comparaison des différents composés. Au lieu de considérer le nombre 100, dans les corps oxygénés, comme le poids résultant d'un certain nombre de particules d'oxygène, on a imaginé de le regarder comme le poids même d'une particule, en prenant en même temps le nombre correspondant pour poids d'une particule de base. Dès lors on a dit : dans les composés de l'oxygène et du soufre, les choses sont telles qu'on trouve successivement 1 particule de soufre, pesant 201,16, terme moyen, réunie à 1, à 2, à 3 particules d'oxygène, pesant chacune 100. De même, dans les oxydes de cuivre, 1 particule de cuivre, pesant 395,69, se trouve réunie à 1, à 2 particules d'oxygène, ou bien 2 particules de cuivre à 1 particule d'oxygène, etc.

Maintenant ayant exprimé par 100 le poids de la particule d'oxygène, il n'a plus été possible d'employer ce nombre pour d'autres corps, pas plus qu'après avoir pris relativement 201,16 pour le soufre, 395,69 pour le cuivre, ou n'a pu les changer. On a donc été conduit à chercher le poids de la particule de chaque corps en partant du nombre 100 admis pour l'oxygène, ou de tout autre déjà fixé relativement à cette unité, comme, par exemple, 201,16 fixé pour le soufre, etc. C'est à quoi on est parvenu en cherchant exactement la composition des oxides, des sulfures, etc. (1).

Telles sont les bases de ce qu'on nomme la *théorie atomique*, car le nom d'*atome* a prévalu sur les noms de particule, molécule, etc., qu'on aurait pu également employer.

§ 131. **Transformations atomiques.** — Dans cette manière de s'exprimer, on peut énoncer avec facilité toutes les espèces de combinaisons, et surtout les comparer les unes aux autres ; mais il faut,

(1) Si l'on ne connaissait pas les oxydes de cuivre, par exemple, on pourrait avoir le poids de la particule de ce métal par les sulfures. Sachant qu'un sulfure est composé de 100 de soufre et 395,38 de cuivre, on dirait : le poids de la particule de soufre ayant été représenté par 201,165 (*Voy.* les tables), si nous faisons la proportion 100 : 395,38 : : 201,165 : x, le quatrième terme sera le poids de la particule cherchée, ou 791,34. Si l'on ne connaissait pas d'autres composés, il resterait l'incertitude de savoir si ce nombre représente 1 particule ou 2, etc.; de sorte qu'on pourrait admettre 791,34, ou 395,67, etc. On conçoit que ce n'est qu'à la longue et par l'ensemble de tous les faits relatifs à un corps qu'on peut se fixer à cet égard.

avant tout, transformer les rapports en poids que fournit l'analyse, en rapports atomiques.

Cette transformation se fait en divisant le poids de chacun des composants par le poids atomique correspondant, et réduisant ensuite les rapports à leur plus simple expression. Par exemple, pour la première des analyses précédentes, § 129 :

	Poids,	On trouvera *les rapports atomiques.*
Soufre.	0,192	0,00095 ou 2
Cuivre.	0,189	0,00048 1
Plomb.	0,619	0,00048 1

Pour cela on cherchera, dans les tables (1), les poids atomiques du soufre, du cuivre et du plomb (savoir : 201,165-395,695. — 1294,498), par lesquels on divisera les poids correspondants donnés par l'analyse (2) : on trouvera ici :

$$\frac{0,192}{201,165} = 0,00095\,;\quad \frac{0,189}{395,695} = 0,00048\,;\quad \frac{0,619}{1294,498} = 0,00048$$

nombres qui sont à peu près entre eux comme 2, 1 et 1. Le corps se trouve donc composé de 2 atomes de soufre, 1 atome de cuivre et 1 atome de plomb.

Les deux autres analyses données se transformeront de la même manière, et on aura :

	2e *Analyse.*			3e *Analyse.*		
	Poids.	Rapports atomiques.		Poids.	Rapports atomiques.	
Soufre	0,162	0,0008	ou 2 atomes.	0,173	0,00086	ou 3 at.
Cuivre	0,318	0.0008	2 atomes.	0,455	0,00116	4 at.
Plomb	0,520	0;0004	1 atome.	0,372	0,00029	1 at.

Il ne sera pas plus difficile de transformer des analyses de corps oxygénés. Ainsi, connaissant le poids atomique de la silice,

---

(1) Voyez une table des poids atomiques à la fin de cet article.

(2) Les poids donnés par l'analyse signifient qu'il y a pour chacun des trois corps de certains nombres d'atomes n, n', n'', dont les rélations sont 0,192, 0,189, 0,619; c'est-à-dire qu'on a

$$0,192 : 0,189 : 0,619 :: n\ (201,165) : n'\ (395,695) : n''\ (1294,498).$$

$$\text{Ou bien } \frac{0,192}{201,165} : \frac{0,189}{395,696} : \frac{0,619}{1294,498} :: n : n' : n\ ,$$

de sorte que les quotients donnent les rapports entre n, n', n''.

577,478; celui de l'alumine, 642,334; et celui de la chaux, 356,019, on trouvera pour les compositions suivantes :

	4e *Analyse.*		5e *Analyse.*	
	Poids	Rapports atomiques	Poids.	Rapports atomiques.
Silice	0,403	0,00070 ou 2 atomes.	0,424	0,00073 ou 3 at.
Alumine	0,225	0,00035 1 atome.	0,314	0,00049 2 at.
Chaux	0,372	0,00104 3 atomes.	0,262	0,00073 3 at.

On pourrait donc exprimer les cinq compositions précédentes comme il suit, en mettant les nombres atomiques en exposants au-dessus des noms des matières composantes :

1re — Soufre^1, cuivre^1, plomb^1, *ou par abréviation.* So^2. Cu', Pl'
2e — Soufre^1, cuivre^2, plomb^1. . . . . So^2, Cu^2, Pl'
3e — Soufre^3, cuivre^4, plomb . . . . . So^3, Cu^4, Pl'
4e — Silice^2, alumine^3, chaux^5. . . . . Si^2, Al^3, Ch^5
5e — Silice^2, alumine^2, chaux^3. . . . . Si^2, Al^2, Ch^3

Il est facile maintenant de comparer ces corps les uns aux autres, d'en exprimer clairement les différences, enfin de s'en faire une idée nette.

§ 132. **Signes de composition.** — Pour peindre la composition des corps plus facilement, on emploie les initiales des noms au lieu des noms eux-mêmes, à peu près comme nous venons de le faire par abréviation, mais avec quelques conventions relativement aux détails : on est à peu près convenu de prendre pour cela les noms latins; savoir :

Al. Aluminium.
Ag. Argentum.
As. Arsenicum.
Au. Aurum.
Az. Azotum, ou N. nitricum.
Ba. Baryum.
Bi. Bismuthicum.
B ou Bo. Boron.
Br. Bromium.
Ca. Calcium.
Cd. Cadmium.
C. Carbonicum.
Ce. Cerium.
Ch. Chlorum.
Cr. Chromium.
Co. Cobaltum.
Cu. Cuprum.
Fe. Ferrum.
Fl. Fluor.
Gl. Glucinium ou Be Berillium.
Hg. Hydrargyrum, ou Me. mercure.
Hy ou H. Hydrogenium.
I. Iodicum.
Ir. Iridium.
K. Kalium, ou Po. potassium.
L. Lithium.
Ma ou Mg Magnesium.
Mn. Manganesium.
Mo. Molybdœnum
Na. Natrium, ou So. sodium.
Ni. Niccolum, nickel.
Os. Osmium.
O. Oxygenium.
Pd. Palladium.
Ph Phosphorus.
Pl ou Pt. Platinium.
Pb. Plumbum.
R. Rhodium.
Se. Selenium.
Si. Silicium.
Sn. Stannum.
Sb. Stibium.
Sr. Strontium.
S ou Su. Sulphur.
Ta. Tantalium.
Te. Tellurium.
Th. Thorinium.
Ti. Titanium.
Tu. Tungstenium, ou W. Wolframium.
U. Uranium.
Vn. Vanadium.
Y. Yttrium.
Zn. Zincum.
Z. Zirconium.

Pour désigner une combinaison, on écrit les signes des composants l'un auprès de l'autre, et pour indiquer les nombres atomiques, on place les chiffres en exposants, en sous-entendant, comme en algèbre, l'exposant 1. Ainsi Fe Su indique la combinaison d'un atome de fer et d'un atome de soufre ; Fe Cu Su^2 indique un atome de fer, un de cuivre et deux de soufre. On comprendra de même Fe^2 Cu Su^3, Fe^3 Cu^2 Su^5, etc.

Dans la combinaison de trois, ou d'un plus grand nombre d'éléments, on peut écrire la formule de plusieurs manières. Ainsi, au lieu de Fe Cu Su^2, on peut partager l'élément électro-négatif entre les deux bases, Fe Su, Cu Su, et écrire Fe Su + Cu Su.

De même Fe^2 Cu Su^3, ou Fe^3 Cu^2 Su^5, peuvent s'écrire Fe^2 Su^2 + Cu Su, ou Fe^3 Su^3 + Cu^2 Su^2, etc.; mais alors les exposants qui sont de même espèce se transforment en coefficients, et l'on écrit 2 Fe Su + Cu Su, 3 Fe Su + 2 Cu Su.

Cette manière d'écrire s'appuie théoriquement sur ce que les composés triples de nos laboratoires sont le plus souvent le résultat de la combinaison de deux composés binaires.

On pourrait écrire de même la composition des corps oxygénés. Ainsi, Ca O, Si O^3, etc., indiqueraient l'union de 1 atome de calcium et 1 atome d'oxygène, de 1 atome de silicium et 3 atomes d'oxygène, etc.; mais les corps oxygénés étant très nombreux, on est convenu, pour éviter complication dans les formules, de supprimer le signe oxygène et de le remplacer par des points, au-dessus de la lettre, en nombre égal à celui des atomes. Ainsi on écrit $\dot{C}a\,\dddot{S}i$, au lieu de Ca O + Si O^3, etc.

Quand il arrive que la base entre pour deux atomes dans l'oxyde, on est généralement convenu de couper la lettre en deux par une barre horizontale. Ainsi, au lieu de Fe^2 O^3, Cu^2 O, etc., on écrit $\dddot{F}e$, $\dot{C}u$, etc. Cependant, la difficulté d'avoir de ces lettres barrées sur tous les corps, a fait aussi recourir à d'autres moyens : on a coupé la lettre par un trait de lime, comme $\dddot{F}e$, $\dot{C}u$; on a mis une barre au-dessous, comme $\underline{\dddot{F}e}$, $\underline{\dot{C}u}$: et enfin on a mis des chiffres en indices, comme $\dddot{F}e_2$, $\dot{C}u_2$, ou des primes $\dddot{F}e_{//}$, $\dot{C}u_{//}$.

Les sulfures étant aussi très abondants, et souvent très compliqués, on a imaginé de représenter les atomes de soufre par des virgules placées au-dessus de la base. Ainsi on écrit Pb, $\ddot{F}e$, $\ddot{S}b$, etc., au lieu de Pb Su, Fe Su^2, Sb Su^3, etc.

D'après ces conventions, les cinq analyses que nous avons

prises ci-dessus, § 131, pour exemples de transformations, devront s'écrire comme il suit :

1re — $Cu\,Pb\,Su^2$, ou bien $Cu\,Su + Pb\,Su$, ou encore $\dot{C}u\,\dot{P}b$.

2e — $Cu^2Pb\,Su^2$, — $Cu^2Su + Pb\,Su$, — $\dot{C}u\,\dot{P}b$.

3e — $Cu^4Pb\,Su^3$, — $2Cu^2Su + Pb\,Su$, — $\dot{C}u^2\dot{P}b$.

4e — $\dot{C}u^3\dot{A}l\,\dot{S}i^2$, — $\dot{C}a^3\dot{S}i + \dot{A}l\,\dot{S}i$.

5e — $\dot{C}a^3\dot{A}l^2\dot{S}i^3$, — $\dot{C}a^3\dot{S}i + 2\dot{A}l\,\dot{S}i$.

Le partage des composants donne ici plus de facilité pour l'énonciation et la comparaison.

§ 133. **Autre loi pour les corps oxygénés.** — Il existe relativement à la combinaison des corps oxygénés une autre loi, d'après laquelle on peut également arriver à une comparaison facile des analyses. Cette loi consiste en ce que la quantité d'oxygène de l'un des composants est généralement un multiple, ou un sous-multiple, de la quantité d'oxygène de l'autre. On cherche donc quelles sont les quantités d'oxygène de chacun des corps qui ont été dosés dans l'analyse, et il en résulte des rapports qu'on réduit à leur plus simple expression. Les analyses de silicates que nous avons calculées ci-dessus donnent ainsi (1) :

		Oxyg.	Rap.			Oxyg.	Rap.
Silice,	0, 403	0, 209	2	Silice,	0, 424	0, 220	3
Alumine,	0, 225	0, 105	1	Alumine,	0, 311	0, 146	2
Chaux,	0, 372	0, 104	1	Chaux,	0, 362	0, 073	1

Les nombres 2, 1 et 1, ou bien 3, 2 et 1, sont alors des poids relatifs d'oxygène qui peuvent caractériser très bien les corps auxquels ils se rapportent.

Signes minéralogiques. — On emploie également des signes pour indiquer ces sortes de rapports; mais on se sert alors des lettres italiques pour montrer que les éléments sont oxydés, et l'on écrit *Al*, *Ca*, *Si*, etc., au lieu de $\dot{A}l$, $\dot{C}a$, $\dot{S}i$, etc. Lorsqu'il y a plusieurs oxydes d'un même corps, on emploie l'italique courant pour le protoxyde, et l'italique capitale, soit simple, soit avec un

(1) En consultant la table placée à la fin de cet article, on trouve que 100 parties de silice renferment 51,95 d'oxygène. Pour avoir l'oxygène que renferment 0,403 de silice, on fera la proportion 100 : 51,95 :: 0,403 : x = 0,209 : on calculera de même pour les autres corps en cherchant leur composition.

signe additionnel, pour les oxydes plus élevés. Ainsi *fe* et *Fe*, *mn* et *Mn*, *cr*, *Cr*, $\dot{C}r$, etc., sont la même chose que $\dot{F}e$, $\dot{F}e$, $\dot{M}n$, $\dot{M}n$, $\dot{C}r$, $\dot{C}r$, $\dot{C}r$, etc. L'eau s'exprime généralement alors par *Aq*, qui équivaut à $\dot{H}y^2\,O$, ou $\dot{H}y$.

Cela posé, nos deux combinaisons peuvent s'écrire aussi :

Ca Al Si^2, ou bien en partageant *Ca Si* + *Al Si*.
Ca Al^2 *Si*^{3}, — *Ca Si* + 2*Al Si*.

Ces espèces de signes, plus simples que les précédents, ont été nommés *signes minéralogiques*, parce que la plupart des substances minérales, étant des composés d'oxydes, peuvent être indiquées de cette manière. Par opposition, les autres signes ont été nommés *signes chimiques*, parce qu'ils indiquent à la fois tous les rapports chimiques.

§ 134. **Passage d'un signe à l'autre.** — Rien n'est plus facile que de passer d'un de ces signes à l'autre ; savoir :

1° *Passer du signe chimique au signe minéralogique.* Il suffit de compter les points qui indiquent l'oxygène, de les multiplier par les exposants et les coefficients, et de simplifier ensuite les rapports s'il y a lieu.

Soit, par exemple, la formule $\dot{C}a^3\,\dot{S}i$ + $3\dot{A}l\,\dot{S}i$. Le premier terme équivaut à Ca^3Si^3, ou 3 *Ca Si*. Le second équivaut à Al^9Si^9, ou 9*Al Si*. L'ensemble est donc 3*Ca Si* + 9*Al Si*, ou bien en réduisant *Ca Si* + 3*Al Si*.

2° *Passer du signe minéralogique au signe chimique.* Il faut d'abord multiplier les exposants par les coefficients, puis rétablir les points à chaque oxyde, et les exposants qui doivent les multiplier pour avoir les mêmes rapports ; enfin repasser aux coefficients et simplifier s'il y a lieu.

Soit la formule 2 *Ca Si*^{3} + 3*Al Si*^{3} ; le premier terme équivaut à $Ca^2\,Si^6$, ou $\dot{C}a^2\,\dot{S}i^2$, et 2 $\dot{C}a\,\dot{S}i$; le second terme équivaut à Al^3Si^9, ou $\dot{A}l\,\dot{S}i^3$: l'ensemble est donc 2 $\dot{C}a\,\dot{S}i$ + $\dot{A}l\,\dot{S}i^3$.

§ 135. **Rappel des corps isomorphes.** — On comprendra mieux maintenant l'isomorphisme, dont nous avons parlé § 46 : il consiste en ce que les composés de même formule, qui renferment un même élément électro-négatif, avec certains éléments électro-positifs différents, présentent des formes, sinon toujours identiques, du moins du même genre. Ainsi les sulfures Pb Su, Ag Su, Zn Su, etc., sont isomorphes malgré la différence des bases, et ont entre eux les plus grandes analogies ; il en est de même des sulfates

Pb Su^3, *Ba Su*^{3}, *Sr Su*^{3}, etc., des carbonates *mn C*^{2}, *Ma C*^{2}, etc., et d'un grand nombre d'autres substances. De là on conclut que certaines bases sont par elles-mêmes isomorphes ; et il faut en dire autant de certains corps électro-négatifs, comme le soufre et le sélénium, ou bien le chlore, l'iode, le fluor, etc. Les corps oxygénés isomorphes sont, en général, ceux qui présentent les mêmes rapports atomiques : ainsi l'alumine $\dddot{A}l$, le peroxyde de fer $\dddot{F}e$, l'oxyde de manganèse $\dddot{M}n$, l'oxyde de chrome $\dddot{C}r$, sont isomorphes. Les oxydes $\dot{C}a$, $\dot{F}e$, $\dot{M}n$, $\dot{M}a$, etc., sont aussi isomorphes. Cependant il ne faudrait pas conclure *à priori* que tout ce qui a la même formule est isomorphe, et il faut consulter l'expérience à cet égard ; en effet, il est reconnu que $\dot{K}$, $\dot{N}a$, $\dot{L}$, ne sont pas isomorphes de $\dot{C}a$, $\dot{F}e$, etc., qui ont la même formule. Ces corps sont cependant susceptibles de se substituer l'un à l'autre dans les composés.

DISCUSSION DES ANALYSES.

§ 136. **Nécessité.** — Il n'arrive pas toujours que les analyses minérales puissent se transformer aussi facilement que les précédentes en rapports atomiques, ou de quantité d'oxygène. Fréquemment, au contraire, on n'obtient de l'une ou de l'autre manière que des nombres qu'on ne parvient pas à simplifier. Cela tient à ce que les matières minérales ont rarement cristallisé seules, et que dès lors l'une d'entre elles a entraîné une certaine quantité des autres. C'est, en effet, ce qui arrive dans nos laboratoires, lorsque plusieurs sels se trouvent ensemble dans la même solution. Or, ces mélanges masquent les proportions, et il faut chercher à les mettre à découvert au milieu des complications que la nature peut présenter. C'est ce travail que j'appelle *discussion de l'analyse*, c'est-à-dire séparation de ce qu'il y a de propre au corps et de ce qu'il y a d'étranger.

Bases de la discussion et application. — Les observations de laboratoire nous font reconnaître deux sortes de mélanges : les uns se font en toutes proportions ; les autres, au contraire, ne se font jamais qu'en assez petite quantité.

1° Les mélanges en toutes proportions ont lieu entre des sels qui ont la même formule de composition, quoiqu'ils puissent être à bases différentes. Ainsi, quand on mêle ensemble dans la même solution les aluns à base d'alumine et de potasse, d'alumine et d'ammoniaque, de peroxyde de fer et de potasse, d'oxyde de chrome (*Cr.*) et de

potasse, etc., ils se mélangent entre eux de toutes les manières pendant la cristallisation, et de telle sorte qu'il n'y a pas un cristal qui ne renferme tous ces aluns, et à peu près comme la solution même. Chacun présente alors la composition $3\,Al\,Su^3 + K\,Su^3 + 24\,Aq$. qui est celle de l'alun ordinaire, avec une quantité plus ou moins grande de

$$3\,Fe\,Su^3 + K\,Su^3 + 24\,Aq$$
$$3\,Cr\,Su^3 + K\,Su^3 + 24\,Aq, \text{ etc.}$$

ce qu'on peut représenter d'une manière générale sous la forme

$$3\,(Al, Fe, Cr, \text{ etc.})\,Su^3 + K\,Su^3 + 24\,Aq$$

en renfermant entre parenthèses les bases analogues et laissant chacune d'elles indéterminée ; c'est-à-dire que c'est alors la somme des quantités d'oxygène renfermées dans ces bases qui est à la quantité d'oxygène renfermée dans l'acide dans le rapport de 1 à 3.

Exemple de mélange naturel. — La même chose arrive précisément dans la nature, et en réunissant les quantités d'oxygène des diverses bases analogues, on parvient à trouver des formules régulières là où l'on ne pourrait rien avoir autrement. Par exemple, l'analyse suivante :

	Poids.	Oxygène.	Sommes partielles.	Rapport.
Silice . . . . . *Si*, .	0,395	0,205	0,205	2
Alumine . . . . . *Al*. .	0,149	0,069	0,101	1
Peroxyde de fer. . . . *Fe*. .	0,104	0,032		
Chaux. . . . . *Ca*. .	0,118	0,855	0,102	1
Magnésie. . . . . *Ma*..	0,101	0,039		
Protoxyde de fer. . . . *fe* . .	0,092	0,021		
Protoxyde de manganèse. *mn*	0,040	0,089		
	0,999			

ne présente rien de satisfaisant lorsqu'on cherche à comparer les quantités d'oxygène ; mais si l'on réunit d'un côté l'alumine et le peroxyde de fer, qui peuvent se remplacer dans les composés, de l'autre les protoxydes de fer et de manganèse, la chaux, la magnésie, qui se remplacent aussi, les sommes d'oxygène sont alors en rapports simples entre elles et avec l'oxygène de la silice, de manière qu'on a 1, 1 et 2 pour ces rapports ; dès lors la formule de cette substance compliquée est $(Ma, Ca, mn, fe)\,(Fe, Al)\,Si^2$: c'est-à-dire que cette substance est un mélange de diverses matières de même formule, savoir : de $Ma\,Al\,Si^2$, composition non dénommée, de $Ca\,Fe\,Si^2$, qui forme ce qu'on nomme la *mélanite*, de $Ca\,Al\,Si^2$, ou le *grossulaire*, de $fe\,Al\,Si^2$, ou l'*almandine*, et de $mn\,Al\,Si^2$, ou la *spessartine*.

Pour calculer en poids les quantités relatives de ces corps, il faut composer d'abord chacun d'eux théoriquement par quantités d'oxygène, puis chercher d'après ces quantités celles des matières correspondantes. Ainsi on prendra :

	Oxygène.					
	Ma 0,039	formant	Magnésie.	0,101	0,337	*Ma Al Si²*
	Al 0,039	—	Alumine.	0,086		
	Si² 0,078	—	Silice.	0,150		
	Ca 0,032	—	Chaux.	0,114	0,341	*Mélanite.*
	Fe 0,032	—	Peroxyde de fer	0,104		
	Si² 0,064	—	Silice.	0,123		
Reste de	*Ca* 0,001	—	Chaux.	0,004	0,010	*Grossulaire.*
	Al 0,001	—	Alumine.	0,002		
	Si² 0,002	—	Silice.	0,082		
	fe 0,021	—	Protoxyde de fer.	0,092	0,218	*Almandine.*
	Al 0,021	—	Alumine.	0,045		
	Si² 0,042	—	Silice.	0,004		
	mn 0,008	—	Protox. de mang.	0,036	0,082	*Spessartine.*
Reste de	*Al* 0,008	—	Alumine.	0,015		
	Si² 0,016	—	Silice.	0,031		
Reste de	*mn* 0,001	*mn Si²?*	Protox. de mang.	0,004	0,010	*Kieselmangan ?*
Reste de	*Si* 0,003		Silice.	0,006		
				0,998		

Pour faire ces calculs, on se sert des tables de composition des oxydes. Trouvant, par exemple, que 100 de magnésie renferment 38,71 d'oxygène, on fait pour la première substance $38{,}71 : 100 :: 0{,}039 : x = 0{,}101$; et de même pour toutes les autres.

2° Les mélanges qui se font en petites quantités ont particulièrement lieu entre des matières hétérogènes. Quand, dans nos laboratoires, plusieurs sels de formules différentes se trouvent dans la même solution, il est rare que l'un d'eux se précipite sans entraîner une petite partie des uns ou des autres. Si des sels cristallisent dans une matière en bouillie, ils en entraînent également, et quelquefois même en grande quantité.

Il est évident que la même chose doit avoir lieu dans la nature, et que dès lors l'analyse des minéraux, en nous présentant en bloc les oxydes qui appartiennent à diverses substances, ne doit plus nous offrir les rapports simples que nous avons indiqués. C'est par là que s'expliquent une multitude d'anomalies apparentes.

Pour discuter les analyses dans ces cas de mélanges, il faut se procurer par la visite des localités, ou par l'examen des séries d'échantillons récoltés sur les lieux, la connaissance des matières qui ont pu cristalliser ensemble, et par conséquent se mélanger. Il faut connaître la composition de toutes ces matières, en établir les formules, du moins approximativement, pour discuter ensuite tous les résultats et arriver enfin aux formules réelles.

Exemple de mélange naturel. — Quand les matières mélangées renferment des bases différentes, il est toujours facile de les extraire. Par exemple, sachant qu'une substance dont la formule ordinaire est $Ca\,Ma^3\,Si^9$ a cristallisé en même temps qu'une autre $Ca\,Al\,Si^2$, il sera facile de ramener l'analyse suivante à la véritable formule, qu'il est d'abord impossible d'établir :

		Oxygène.
Silice.	0,582	0,302
Alumine.	0,024	0,011
Chaux.	0,151	0,042
Magnésie	0,241	0,093

En effet, l'alumine renfermant ici 0,011 d'oxygène, on formera le composé $Ca\,Al\,Si^2$ sur cette base, savoir :

Oxygène.				Rapport.
Al.	0,011	et il restera oxygène de silice. . . .	0,289	9
Ca.	0,011	— — chaux . . .	151	1
Si^2. . . .	0,022	— — magnésie. . .	0,093	3

On voit que ces restes d'oxygène sont précisément dans le rapport qui constitue la première formule. On calculera si l'on veut les poids correspondants comme ci-dessus.

Autre exemple. — La discussion présente en apparence quelque chose de plus difficile lorsque les substances mélangées sont formées des mêmes éléments en diverses proportions, par exemple, de $Ca\,Si$ et $Ca\,Si^2$; mais on aperçoit bientôt qu'il ne s'agit que de partager des quantités données chacune en plusieurs autres, et de telle manière que les parties de l'un des nombres soient aux parties de l'autre dans des rapports donnés. C'est alors un des plus simples problèmes d'algèbre.

Soit l'analyse { Silice. 0,497 tenant oxygène. 0.258 ; Chaux. 0,502 — 0,141

que l'on suppose être un mélange de $Ca\,Si$ et $Ca\,Si^2$. Il s'agit de partager les nombres 0,258 et 0,141 chacun en deux autres, x et y pour le premier, x' et y' pour le second, de manière que x soit à x' dans le rapport de 1 à 1 d'après la formule $Ca\,Si$, et que y soit à y' dans le rapport de 1 à $\frac{1}{2}$ suivant la formule $Ca\,Si^2$,

On aura donc d'une part $x + y = 0{,}258$, et de l'autre $x' + y'$, ou $x + \frac{1}{2}y = 0{,}141$. De ces deux équations en x et y, on tirera

$x = 0{,}024$ Oxygène de la silice
$x' = x = 0{,}024$ Oxygène de la chaux } dans la formule $Ca\,Si$.

$y = 0{,}234$ Oxygène de la silice
$y' = \frac{1}{2}y = 0{,}117$ Oxygène de la chaux } dans la formule $Ca\,Si^2$.

On calculera les poids correspondants de silice et de chaux comme ci-dessus.

Tableau des poids atomiques et des compositions les plus utiles.

NOMS.	POIDS ATOMIQUES.	SIGNES.	COMPOSITION. CORPS ÉLECT.-NÉGAT.		CORPS ÉLECT.-POSIT.	
Acide azotique.	677,036	$\dddot{A}z$	Ox.	= 73,852	Az	= 26,148
— borique.	872,409	$\ddot{B}o$	Ox.	68,78	Bo	31,22
— carbonique.	275,005	$\ddot{C}$	Ox.	72,726	C.	27,274
— phosphorique.	892,285	$\dddot{P}h$	Ox.	56,05	Ph	43,97
— sulfurique.	501,165	$\ddot{S}u$	Ox.	59.86	Su	40,14
Alumine.	642,352	$\dddot{A}l$	Ox.	46,70	Al	53,30
Antimoine.	806,452	Sb				
Argent.	1351,607	Ag				
Arsenic.	470,042	Ar				
Baryte.	956,880	$\dot{B}a$	Ox.	10,45	Ba	89,55
Bismuth.	1350,377	Bi				
Carbone.	75,005	C				
Carbonate de chaux.	631,024	$\dot{C}a\,\ddot{C}$	$\ddot{C}$	43,71	$\dot{C}a$	56,29
Chaux.	356,019	$\dot{C}a$	Ox.	28,09	Ca	71,91
Chlore.	221,326	Ch				
Chlorure d'argent.	1794,258	$Ag\,Ch^2$	Ch	24,67	Ag	75,33
Cobalt.	568,991	Co				
Cuivre.	395,695	Cu				
Eau.	112,479	$\dot{H}y$	Ox.	88,91	Hy	11,09
Etain.	735,294	Sn				
Fer.	339,205	Fe				
Fluor.	116,900	Fl				
Hydrogène.	6,2398	Hy				
Lithine.	127,757	$\dot{L}$	Ox.	44,56	Li	55,44
Magnésie.	258,352	$\dot{M}a$	Ox.	58,71	Ma	61,29
Mercure.	1265,823	Hg				
Nickel.	369,675	Ni				
Oxyde cobalteux.	468,991	$\dot{C}o$	Ox.	21,52	Co	78,68
— cuprique.	495,695	$\dot{C}u$	Ox.	20,17	Cu	79,85
— ferreux.	439,205	$\dot{F}e$	Ox.	22,77	Fe	77,23
— ferrique.	978,409	$\dddot{F}e$	Ox.	30,66	Fe	69,34
— manganeux.	445,887	$\dot{M}n$	Ox.	22,43	Mn	77,57
— manganique.	991,774	$\dddot{M}n$	Ox.	30,25	Mn	69,75
— permanganiq.	545,887	$\ddot{M}n$	Ox.	36,64	Mn	63,36
— plombeux.	1394,498	$\dot{P}b$	Ox.	7,171	Pl.	92,829
— stannique.	935,294	$\ddot{S}n$	Ox.	21,38	Sn	78,62
— zincique.	505,226	$\dot{Z}n$	Ox.	19,87	Zn	80,13
Plomb.	1294,498	Pb				
Potasse.	589,916	$\dot{K}$	Ox.	16,95	K	83,05
Silice.	577,312	$\ddot{S}i$	Ox.	51,96	Si	48,04
Soude.	390,897	$\dot{N}a$	Ox.	25,58	Na	74,42
Soufre.	201,165	$\ddot{S}u$				
Strontiane.	647,285	$\dot{S}r$	Ox.	15,45	Sr	84,55
Sulfate barytique.	1458,045	$\dot{B}a\,\ddot{S}u$	$\ddot{S}u$	34,37	$\dot{B}a$	65,63
— plombeux.	1895,665	$\dot{P}b\,\ddot{S}u$	$\ddot{S}u$	26,44	$\dot{P}b$	73,56
Zinc.	403,226	Zn				

CLASSIFICATION DES MINÉRAUX

§ 137. **Définition et objet des classifications.** — Le mot classification s'étend à toute espèce d'arrangement qu'on peut faire entre un certain nombre de corps, soit qu'on ait pour but de retrouver facilement chacun d'eux au milieu des autres, soit qu'on veuille faire ressortir les analogies ou les différences qu'ils peuvent présenter.

Si l'on a seulement pour objet de retrouver chacun des corps au besoin, comme les livres dans une bibliothèque, la classification peut être quelconque, et il y a une infinité de manières de s'y prendre, toutes aussi bonnes les unes que les autres si l'on y met assez de soins : par exemple, on peut placer sur chacun des corps un signe distinctif, qu'on consignera ensuite sur un catalogue, ou bien se servir de l'un ou de l'autre des signes les plus apparents que les corps eux-mêmes peuvent offrir, comme la grandeur, la forme, la couleur, etc.

S'il s'agit de faire ressortir les analogies ou les différences que les corps peuvent offrir, il n'y a plus qu'un seul mode d'arrangement praticable, et qui résulte d'une comparaison aussi complète qu'il est possible de tous ces corps. L'arrangement sera d'autant plus parfait que la comparaison portera sur un plus grand nombre de points, et il se perfectionnera à mesure qu'on trouvera de nouveaux moyens de confrontation, qu'on connaîtra mieux le degré d'importance des différents rapports, ceux qu'on doit soigneusement observer et ceux que l'on peut négliger sans inconvénient.

§ 138. **Classification naturelle.** — C'est évidemment à cette dernière classification qu'on doit s'arrêter pour l'histoire naturelle, qui procède toujours par analogies et différences, et dont le but est de coordonner rigoureusement les résultats des recherches auxquelles tant d'hommes célèbres se sont livrés. C'est, en effet, celle qui est adoptée partout aujourd'hui, et qu'on désigne sous le nom de *classification naturelle* ou *méthode naturelle*, par opposition à tous les arrangements arbitraires, nommés alors *méthodes artificielles*, qu'on a autrefois imaginés, pour faciliter la distinction et la reconnaissance des différents êtres, d'après quelques uns des signes apparents qu'ils présentaient.

Division de la classification. — Toute classification comporte des divisions et subdivisions successives par le moyen desquelles

on arrive, de la collection totale, à chacun des corps qui la composent. La classification naturelle en est susceptible comme toute autre; elle présente d'abord quelques grandes coupes fondées sur des analogies qui conviennent à un grand nombre d'êtres, puis dans chacune d'elles des divisions et subdivisions par des analogies qui conviennent successivement à un plus petit nombre, jusqu'à ce qu'enfin on arrive à l'individu, c'est-à-dire à un être dont il peut bien exister différents exemplaires, mais entre lesquels il n'est plus possible d'établir de différences importantes. C'est ainsi que toute l'histoire naturelle se divise en *trois règnes* (animal, végétal, minéral), chaque règne en *embranchements* et *classes*, chaque classe en *ordres*, chaque ordre en *familles* et en *tribus*, chaque famille en *genres*, et chaque genre en *espèces*.

On définit généralement l'*espèce*, l'ensemble des individus semblables, ou l'ensemble des individus qui ont entre eux plus d'analogies qu'ils n'en ont avec tous les autres.

Le *genre* est la réunion des espèces qui ont entre elles plus d'analogie de toute nature qu'elles n'en ont avec toutes les autres.

Les *tribus*, les *familles*, etc., sont de même des réunions successives de genres, de tribus, etc., qui ont entre eux plus d'analogies qu'ils n'en ont avec tous les autres.

§ 139. **Moyens de comparaison des corps bruts.** — Pour classer les corps bruts dans l'ordre des analogies, il faut les comparer soigneusement les uns aux autres, et cela se fait par les diverses propriétés physiques et chimiques que nous avons étudiées. Mais ces propriétés ne sont pas toutes capables d'établir des analogies ou des différences du même degré d'importance. Ce serait fort peu de chose, par exemple, que l'analogie ou la différence qui serait tirée de l'état terreux, sous lequel, pour ainsi dire, toutes les substances peuvent se présenter; ce serait peu de chose encore que la couleur, à moins qu'elle ne fût inhérente à la nature même des corps, car on sait qu'un même corps peut être accidentellement coloré de toutes les manières. Il faut donc faire un choix dans les diverses propriétés pour établir des comparaisons capables d'un résultat important.

Il suffit de se rappeler les détails divers que nous avons donnés, pour voir que les propriétés réellement importantes, pour la comparaison des corps bruts, sont les formes cristallines, le clivage, les phénomènes de réfraction simple ou double, la polarisation par réflexion, l'état élastique, la dureté, le poids spécifique, la composition chimique. Parmi les autres propriétés, les unes sont accidentelles et par conséquent inutiles à la comparaison, et les autres

sont ou variables suivant les lois que nous ne connaissons pas, ou applicables à trop peu de corps.

Remarquons aussi que les corps bruts sont fréquemment privés de formes régulières, et n'offrent que des structures d'agrégation, que souvent ils sont opaques, et que par conséquent on ne peut observer la réfraction; qu'ils sont ternes, et que dès lors l'angle de polarisation reste inconnu. Il en résulte que la composition chimique, après une discussion préalable des analyses, est souvent le seul moyen possible de comparaison, et que dès lors c'est en réalité ce qu'il y a de plus important dans les minéraux.

§ 140. **Individu minéralogique.** — Tant qu'il s'agit des corps organisés, on se fait toujours une idée nette de l'*individu*, car, tous ces corps se composant de parties qui ont des formes et des positions relatives définitivement arrêtées, on ne peut, en général, les diviser sans les détruire : c'est là ce qu'on exprime par le mot individu.

Dans les matières brutes, il n'est pas aussi facile d'acquérir l'idée d'individualité, et l'on ne peut même y parvenir tant qu'on les considère sous des rapports purement physiques. Cela tient à ce que ni la forme ni la structure ne sont essentielles à ces corps. § 3, et que dès lors ils peuvent être divisés et subdivisés à l'infini, sans cesser d'exister, la moindre parcelle possédant en effet les mêmes propriétés que le tout. Mais dès qu'on envisage les corps bruts sous des rapports chimiques, la question change de face, et l'individu devient manifeste. En effet, il y a certaines opérations chimiques que l'on ne peut pratiquer sur ces corps sans les dénaturer, sans les diviser en parties hétérogènes s'ils sont composés, sans les faire passer dans de nouveaux corps s'ils sont simples. Ces opérations sont donc les limites de la divisibilité des corps bruts, et pour elles ces corps deviennent des individus.

Il résulte de là que l'*individu minéralogique* ne peut être qu'un *corps simple*, *un élément*, ou bien un *assemblage d'un certain nombre d'éléments en certaines proportions relatives*.

§ 141. **Espèce minéralogique.** — D'après cela, l'espèce minéralogique, qui doit être la réunion des individus semblables, ou des individus qui ont entre eux plus d'analogies qu'ils n'en ont avec tous les autres, se définit naturellement la *réunion des corps formés des mêmes principes et en mêmes proportions*.

Les corps qui sont réunis d'après ce principe se ressemblent aussi le plus souvent par toutes les propriétés physiques importantes; toutefois, il faut excepter les cas de dimorphismes et d'iso-

morphismes, où il n'y a plus d'accord entre les caractères physiques et les caractères chimiques.

Quelques naturalistes, prenant le dimorphisme en considération, ont un peu modifié la notion précédente, et défini l'espèce minérale la *réunion des corps formés des mêmes éléments, en même proportion, et au même état d'agrégation moléculaire*. D'où il résulte qu'un même corps, sous deux systèmes de formes différentes, doit constituer deux espèces, qui sont alors caractérisées par les propriétés physiques.

§ 142. **Genres minéralogiques.** — Le genre doit être la réunion des espèces qui ont entre elles plus d'analogies qu'elles n'en ont avec toutes les autres. Or, sous le rapport chimique, les espèces les plus analogues sont celles qui renferment les mêmes principes combinés en proportions différentes; en sorte que des corps tels que Pb Su, Pb Su^2, Pb Su^3, etc., sembleraient former naturellement un genre, dont les espèces seraient caractérisées par les proportions relatives.

Cependant cette manière de grouper les espèces ne satisfait pas à la condition de réunir celles qui ont le plus de ressemblance sous tous les rapports. Il en est une autre où, avec des analogies chimiques d'un ordre différent, les espèces ont en même temps de telles analogies physiques qu'on ne peut souvent, au premier abord, les distinguer les unes des autres. C'est ce qui a lieu quand des corps isomorphes viennent à se remplacer dans une combinaison; ainsi, des corps tels que Pb Su, Ag Su, Zn Su, etc., dont les bases sont isomorphes et le principe électro-négatif commun, ont entre eux des analogies physiques très étendues.

Il résulte de là que, pour réunir en genres les espèces les plus analogues par l'ensemble de tous leurs caractères, il faut rassembler *celles qui renferment des bases isomorphes combinées, suivant les mêmes relations atomiques, avec le même principe électro-négatif*. Telle est la définition du genre naturel, qui est alors caractérisé par l'élément électro-négatif et par les propriétés physiques.

§ 143. **Tribus minéralogiques.** — Les espèces isomorphes ne résultent pas seulement de la substitution d'une base à une autre, il s'en fait aussi par des substitutions de principes électro-négatifs isomorphes; de sorte qu'il y a des genres isomorphes qui ont par conséquent entre eux les plus grands rapports, et qu'on doit placer auprès les uns des autres. De là résultent encore de nouveaux groupes très naturels, qui peuvent être désignés sous le nom de *tribus minéralogiques*. Par exemple, les corps :

Pb Su, Ag Su, etc., forment un genre de sulfures isomorphes.
Pb Se, Ag Se, etc., forment un genre de séléniures isomorphes entre eux et avec les sulfures correspondants.
Pb Te, Ag Te, etc., forment un genre de telluriures isomorphes entre eux et avec les composés précédents.

Ces trois genres constituent un groupe de corps très analogues, tant par les caractères physiques que par les formules de composition, et qu'on peut appeler une tribu.

Des genres caractérisés par d'autres formules, comme $Cu^2 Su$, $Cu^2 Se$, etc., ou bien $Ag Su + Cu^2 Su$ et $Ag Se + Cu^2 Se$, etc., formeraient d'autres tribus, voisines des précédentes, et qui se distingueraient par d'autres analogies physiques.

§ 144. **Familles minéralogiques.** — L'idée de la famille se présente maintenant d'une manière toute naturelle ; c'est la réunion de diverses tribus formées par les différents genres d'isomorphismes qui résultent des proportions diverses où les corps peuvent se trouver dans les composés. Ainsi dans le tableau suivant les différents genres isomorphes de sulfures, séléniures, telluriures, etc., simples, doubles ou triples, forment diverses tribus dont l'ensemble constitue une famille, ou même plusieurs en prenant en considération le nombre des éléments réunis.

		1re espèce.	2e espèce.	3e espèce.	
1re tribu, ou groupe de genres isomorphes.	Composés binaires.	$Pb Su$,	$Ag Su$,	$Zn Su$, etc.,	1er genre.
		$Pb Se$,	$Ag Se$,	etc.,	2e genre.
		$Pb Te$,	$Ag Te$,	etc.,	3e genre.
2e tribu, autre groupe de genres isomorphes.		$Cu^2 Su$, etc.,			1er genre.
		$Cu^2 Se$, etc.,			2e genre.
3e tribu, autre groupe de genres isomorphes.	Composés ternaires.	$Ag Su + Cu^2 Su$,	1re espèce		1er genre.
		$Fe Su + Cu^2 Su$,	2e espèce		
		$Ag Se + Cu^2 Se$,			2e genre.
Types de diverses tribus.		$Sb^2 Su^3 + Ag Su$,	1re espèce		genre.
		$Sb^2 Su^3 + Pb Su$,	2e espèce		
		$Sb^2 Su^3 + 3 Ag Su$,	1re espèce		genre.
		$Sb^2 Su^3 + 3 Pb Su$,	2e espèce		
		$Sb^2 Su^3 + 3 Fe Su$,	3e espèce		

Tribus diverses.

$$\left\{\begin{array}{l} (Sb^2 Su^3 + 3 Cu^2 Su) + 2 (Sb^2 Su^3 + 3 Pb Su) \\ (Sb^2 Su^3 + 9 Cu^2 Su) + 4 (Sb^2 Su^3 + 9 Ag Su) \\ 2 (Sb^2 Su^3 + 4 Cu^2 Su) + (Sb^2 Su^3 + 4 Fe Su) \end{array}\right\} \text{Composés quaternaires.}$$

Ordres. — La réunion de ces sortes de familles constituerait d'autres groupes de corps analogues, qui seraient caractérisés par les principes électro-négatifs isomorphes, et qu'on pourrait appeler des *ordres*.

Classes. — Pour grouper les ordres, on aurait la considération de l'état où se trouvent les principes électro-négatifs dans les composés. Ainsi les sulfures, séléniures, telluriures formeraient des familles dont l'ensemble constituerait un ordre. Les sulfates, séléniates, telluriates formeraient un autre ordre, et ces sortes de groupes composeraient une *classe* facile à caractériser par les propriétés chimiques.

La disposition des classes entre elles résulterait de la comparaison des différents corps simples qui leur servent de types, et elle dépendrait de la classification même de ces corps d'après leur plus ou moins d'analogie.

Remarques. — Dans l'état actuel de nos connaissances, et quoique le nombre des composés naturels découverts soit déjà assez considérable, il est impossible d'établir complétement cette sorte de subordination des groupes; il s'y trouve des lacunes énormes, que nous ne pouvons pas même combler par les produits de laboratoire. Très fréquemment il n'y a qu'un seul corps pour tout représenter, depuis la classe jusqu'à l'espèce. Ailleurs il y a une multitude d'espèces, dont chacune est le type d'un genre qui pourra se remplir par la suite ; mais il y a peu de genres analogues, ou même pas du tout, et l'on ne peut établir ni tribus ni familles : ces espèces forment dès lors un grand tout à peu près indivisible qu'on ne sait comment nommer. De là il résulte que l'ensemble des minéraux connus ne présente que des groupes d'espèces isolées, souvent nombreuses, et çà et là quelques indices de classes avec quelques divisions incomplètes : c'est ce qu'on voit dans le tableau des espèces qui termine cet article.

§ 145. **Nomenclature.** — Il résulte aussi des lacunes que nous venons d'indiquer dans la série des corps bruts, qu'il n'y a que les espèces qui aient reçu des noms; on ne s'est pas trouvé dans la nécessité de faire des noms de genre, et s'il en existe quelques uns, c'est parce que les corps qui s'y rapportent avaient été considérés autrefois comme une seule espèce qui a été divisée plus tard par suite de l'avancement de la science. A plus forte raison n'existe-t-il pas de noms de tribus, de familles, d'ordres et de classes, puisque la plupart de ces divisions, que l'ensemble de nos connaissances fait apercevoir pour l'avenir, ne sont aujourd'hui que des cadres vides.

De là il résulte encore que les êtres ne sont plus désignés, en minéralogie, comme dans les autres parties de l'histoire naturelle, par deux noms, un nom de genre, un nom d'espèce, système de nomenclature qui a rendu d'éminents services à la botanique et à la zoologie.

§ 146. **Variétés de l'espèce.** — Dans le règne minéral, comme dans toutes les autres parties de l'histoire naturelle, l'espèce peut se sous-diviser en variétés. La distinction est ici fondée sur la diversité des formes, qui peuvent être régulières, oblitérées, empruntées et accidentelles d'un grand nombre de manières, sur les diverses sortes de structures, sur les degrés de transparence ou d'opacité, sur l'éclat, sur les couleurs accidentelles, sur les diverses sortes de mélanges, etc. Chacun est à peu près le maître de distinguer ce qu'il voudra, en se bornant toutefois à des choses d'une certaine importance.

Métis minéralogiques. — Il y a dans les animaux des espèces voisines qni peuvent se croiser de toutes les manières, et qui donnent lieu à des êtres qui participent de l'un et de l'autre de leurs parents, comme le mulet et le bardeau; on leur donne le nom de *Métis*, et on les place dans la méthode auprès de l'espèce avec laquelle ils ont conservé le plus de rapports.

Il y a aussi de véritables métis dans les minéraux, et ils résultent du mélange des matières isomorphes en toutes proportions. Lorsque dans ces mélanges il y a une matière qui domine, on doit placer évidemment le corps auprès de l'espèce que cette matière constitue; mais lorsque toutes les matières sont mélangées en parties à peu près égales, il n'y a plus d'autres moyens que de les placer en appendice à la fin du genre dont toutes les espèces mélangées font essentiellement partie.

§ 147. **Tableau des espèces.** — Dans le tableau suivant où nous avons réuni une grande partie des espèces minérales, nous avons moins songé à donner une nomenclature qu'à indiquer les diverses analogies que les matières peuvent avoir entre elles. On peut y lire à la fois dans le sens vertical et dans le sens horizontal; et il est impossible par cette double lecture qu'on n'aperçoive pas les relations de composition, qui donnent en général celles de tous les autres caractères. Nous avons indiqué aussi les réunions d'especes qui forment des types de genres et de tribus, dans les diverses classes, plus ou moins artificielles, qui partagent l'ensemble des minéraux connus.

Palladium	Pa	Plomb	Pb
Platine	Pl	Massicot	$\dot{P}b$ ou
Or	Au	Minium	$\dot{\dot{P}}b$
Argent	Ag		
Mercure	Hg	Cuivre	Cu
Amalgame	Ag Hg^2	Zigueline	$\dot{C}u$

PREM

Sidérides. **Manganides.**

Types de tribus. Tribu.

Fer	Fe		
		Pyrolusite	$\dot{\dot{M}}n$
Oligiste	$\dot{\dot{F}}e$ ou *Fe*	Braunite	$\dot{\dot{M}}n$ ou *Mn*
Limonite	$Fe^2\ Aq$		
Gœthite	$Fe^3\ Aq$	Acerdèse	$Mn^3\ Aq$
Aimant	$fe\ Fe^3$	Hausmanite	$mn\ Mn^3$
Franklinite	$(fe, Zn)Fe^3$	Zinc oxydé rouge	*Zn*, *Mn*
		Psilomélane	$Ba\ Mn^4 +$

DEUX

Tantalides. **Tungstide**

Tantalite	$fe\ ta^2$?	Acide tungst
Yttrotantale	$y,\ Ta$	Wolfram
Columbite	$(fe, mn)\ Ta^2$	Schelite
Bayerine	$(3\ fe^2 + mn)\ Ta^2$	Schelitine

Mélaconise	$\dot{C}u$ ou Cu
Oxyde cobaltique	$\dddot{C}o$ ou Co
Oxyde cobaltique et manganique	Co, Mn, Aq

SSE.

Chromides.

Oxyde chromique	$\dddot{C}r$ ou Cr
Sans nom	$Cr^3\ Aq$
Idérochrome	$(fe, Ma), Cr$
Crocoïse	$Pb\ \overline{Cr}^2$
Vauquelinite	$2\ Pb\ \overline{Cr}^2 + Cu\ \overline{Cr}^2$

Aluminides.

Corindon	$\dddot{A}l$ ou Al
Gibsite	$Al\ Aq$
Sans nom	$Al^3\ Aq^2$
Diaspore	$Al^3\ Aq$
Cymophane	$Gl\ Al^3$
Spinelle	$Ma\ Al^3$
Gahnite	$Zn\ Al^3$
Pléonaste?	$(fe, Ma)\ Al^3$
Plombgomme	$Pb\ Al^6 + 6\ Aq$
Sans nom	$Ca\ Al^2 + 6\ Aq$

SSE.

Molybdides.

Tu ou Tu	Acide molybique $\dddot{M}o$ ou Mo
$(fe, mn)\ Tu^3$	Mélinose $Pb\ Mo^3$
$a\ Tu^3$ / $b\ Tu^3$ genre	

Uranides.

Pechurane	$\dot{U}^2\ \dddot{U}$
Uraconise	$\dddot{U}$

Palladium	Pa	Plomb	Pb
Platine	Pl	Massicot	$\dot{Pb}$ ou
Or	Au	Minium	$\ddot{Pb}$
Argent	Ag		
Mercure	Hg	Cuivre	Cu
Amalgame	Ag Hg^2	Zigueline	$\dot{Cu}$

Mélaconise	$\dot{Cu}$ ou *Cu*
Oxyde cobaltique	$\dddot{Co}$ ou *Co*
Oxyde cobaltique et manganique	*Co*, *Mn*, *Aq*

PREMIÈRE CLASSE.

Types de tribus. Tribu.

Sidérides.

Fer	Fe
Oligiste	$\dddot{Fe}$ ou *Fe*
Limonite	$Fe^2\ Aq$
Gœthite	$Fe^3\ Aq$
Aimant	$fe\ Fe^3$
Franklinite	$(fe, Zn)Fe^3$

Manganides.

Pyrolusite	$\ddot{Mn}$
Braunite	$\dddot{Mn}$ ou *Mn*
Acerdèse	$Mn^3\ Aq$
Hausmanite	$mn\ Mn^3$
Zinc oxydé rouge	*Zn*, *Mn*
Psilomélane	*Ba* $Mn^4 + 2$

Chromides.

Oxyde chromique	$\dddot{Cr}$ ou *Cr*
Sans nom	$Cr^3\ Aq$
Sidérochrome	(fe, Ma). *Cr*
Crocoïse	$Pb\ \overline{Cr}^2$
Vauquelinite	$2\ Pb\ \overline{Cr}^2 + Cu\ \overline{Cr}^2$

Aluminides.

Corindon	$\dddot{Al}$ ou *Al*
Gibsite	$Al\ Aq$
Sans nom	$Al^3\ Aq^2$
Diaspore	$Al^3\ Aq$
Cymophane	$Gl\ Al^3$
Spinelle	$Ma\ Al^3$
Gahnite	$Zn\ Al^3$
Pléonaste?	$(fe, Ma)\ Al^3$
Plombgomme	$Pb\ Al^6 + 6\ Aq$
Sans nom	$Ca\ Al^2 + 6\ Aq$

DEUXIÈME CLASSE.

Tantalides.

Tantalite	$fe\ ta^2$?
Yttrotantale	*y*, *Ta*
Columbite	$(fe, mn)\ Ta^2$
Bayerine	$(3\ fe^2 + mn)\ Ta^2$

Tungstides.

Acide tungstique	$\ddot{Tu}$ ou *Tu*
Wolfram	$(3fe, mn)\ Ta^3$
Schelite	$Ca\ Tu^3$ } genre
Schelitine	$Pb\ Tu^3$ }

Molybdides.

Acide molybique	$\dddot{Mo}$ ou *Mo*
Mélinose	$Pb\ Mo^3$

Uranides.

Pechurane	$\dot{U}^2\ \ddot{U}$
Uraconise	$\dddot{U}$

TROISIÈ

Titanides.

Rutile	$\dot{\dot{T}}i$ ou *Ti*
Anatase	
Brockite	
Nigrine	*fe*, *Ti*
Chrichtonite	*fe*, *Ti*
Polymignite	(*Z*, *y*, *Ca*, *fe*, *mn*, *ce*), *Ti*
Æchinite	(*Ca*, *ce*, *Zi*), *Ti*
Pyrochlore	(*Ca*, *ce*, *u*, *fe*), *Ti*
Sphène	*Ca Ti* + *Ca Si*^{6}

QUATRIÈ

Bismuth Bi

Oxyde de bismuth

Antimonides.

Antimoine Sb

Antimoniure.

Discrase Ag^2 Sb

Sans nom Ag^3 Sb

Antimoniure de Nickel Ni Sb

Antimonickel Ni Sb^2 + Ni Su^2

Oxydes.

Exitèle $\dot{\dot{S}}b$

Stibiconise $\dot{\dot{S}}b$, Aq

Osmiure d'iridium.

Arsénides.

Arsenic

Arséniure.

Arséniure d'argent

Arséniure d'antimoine.

— de bismuth.

Smaltine

Autre

Nickeline

Autre

Disomose

Cobaltine

Mispikel

Tennantite

Oxydes.

Acide arsénieux

SE.

Stannides.

assitérite $\ddot{S}n$ ou Sn

races de $\begin{cases} (Ca, fe, mn)\, Sn^2 \\ Ca\ Sn \\ Al\ Sn \end{cases}$

SSE.

Phosphorides.

Phosphures analogues aux arséniures dans les composés artificiels.

Ar

Co Ar
Co Ar
Ni Ar
Ni Ar^2
Ni Ar_2 + Ni Su^2
Co Ar_2 + Co Su^2 } genre et type de tribu.
Fe Ar^2 + Fe Su^2
Fe Ar^2 + Fe Su^2 + 9 Cu Su^2

$\ddot{A}r$

TROISIÈME CLASSE.

Titanides.

Rutile	$\dddot{T}i$ ou Ti
Anatase	
Brockite	
Nigrine	fe, Ti
Chrichtonite	fe, Ti
Polymignite	$(Z, y, Ca, fe, mn, ce), Ti$
Æchinite	$(Ca, ce, Zi), Ti$
Pyrochlore	$(Ca, ce, u, fe), Ti$
Sphène	$Ca\ Ti + Ca\ Si^6$

Stannides.

Cassitérite	$\dddot{S}n$ ou Sn
Traces de	$(Ca, fe, mn)\ Sn^2$; $Ca\ Sn$; $Al\ Sn$

QUATRIÈME CLASSE.

Bismuth	Bi
Oxyde de bismuth	

Osmiure d'iridium.

Antimonides.

Antimoine	Sb

Antimoniure.

Discrase	$Ag^2\ Sb$
Sans nom	$Ag^3\ Sb$
Antimoniure de Nickel	$Ni\ Sb$
Antimonickel	$Ni\ Sb^2 + Ni\ Su^2$

Oxydes.

Exitèle	$\dddot{S}b$
Stibiconise	$\dddot{S}b$, Aq

Arsénides.

Arsenic	Ar

Arséniure.

Arséniure d'argent	
Arséniure d'antimoine.	
— de bismuth.	
Smaltine	Co Ar
Autre	Co Ar
Nickeline	Ni Ar
Autre	$Ni\ Ar^2$
Disomose	$Ni\ Ar_2 + Ni\ Su^2$
Cobaltine	$Co\ Ar_2 + Co\ Su^2$ } genre et type de tribu.
Mispikel	$Fe\ Ar_2 + Fe\ Su^2$
Tennantite	$Fe\ Ar^2 + Fe\ Su^2 + 9\ Cu\ Su^2$

Oxydes.

Acide arsénieux	$\dddot{A}r$

Phosphorides.

Phosphures analogues aux arséniures dans les composés artificiels.

Tribu

Mimétèse

Olivénite

Pharmacolite

Haidingérite

Arsénicite

Erinite

Aphanèse

Liroconite

Scorodite

Plusieurs antimoniates des laboratoires correspondent aux arséniates. Il y en a des indices dans la nature.

Phosphates.

Apatite	$3\dot{C}a^3\,\dddot{P}h + \left\{\begin{matrix}\dot{C}a\,Ch^2\\ \dot{C}a\,Fl^2\end{matrix}\right\}$ mais.
$3\,\dot{P}b^3\,\dddot{A}r + Pb\,Ch^2$	Pyromorphite	$3\dot{P}b^3\,\dddot{P}h + \dot{C}a\,Fl^2$
	Wagnerite	$\dot{M}a^3\,\dddot{P}h + \dot{M}a\,Fl^2$
	Xenotime	$\dot{Y}^3\,\dddot{P}h$
	Triplite	$(\dot{F}e^4 + \dot{M}n^4)\,\dddot{P}h$?
	Triphylline	$6\,(\dot{M}n^3, \dot{F}e^3)\,\dddot{P}h + \dot{L}^3\,\dddot{P}h$
	Phosphate de cuivre	$\dot{C}u^4\,\dddot{P}h$
$\dot{C}u^5\,\dddot{A}r$		
	Klaprothine	$\dot{M}a^5\,\dddot{P}h + \dot{A}l^5\,\dddot{P}h^3$?
	Ambligonite	$\dot{L}^4\,\dddot{P}h + \dot{A}l^4\,\dddot{P}h^3$
$\dot{C}a^2\,\dddot{A}r + 6\,Aq$		
$\dot{C}a^2\,\dddot{A}r + 3\,Aq$		
$\dot{C}a^5\,\dddot{A}r^2 + 15\,Aq$		
	Aphérèse	$\dot{C}u^4\,\dddot{P}h + 2\,Aq$?
	Ypoleime	$\dot{C}u^5\,\dddot{P}h + 5\,Aq$?
$3\,\dot{C}u^5\,\dddot{A}r + 5\,Aq$?		
$2\,\dot{C}u^5\,\dddot{A}r + 15\,Aq$?		
$\dot{C}u^5\,\dddot{A}r + 5\,\dot{C}u\,Aq$?	Sans nom	$\dot{C}u^5\,\dddot{P}h^2 + 5\,\dot{C}u\,Aq$
	Hureaulite	$(\dot{F}e^5 + 3\dot{M}n^5)\,\dddot{P}h + 30\,Aq$?
	Hétérosite	$(2\,\dot{F}e^5 + \dot{M}n^5)\,\dddot{P}h + 5\,Aq$?
$\dot{F}e\,\dddot{A}r + 4\,Aq$	Phosphates de fer	$\dot{F}e^3\,\dddot{P}h, Aq$; $\dot{F}e^4\,\dddot{P}h, Aq$; $2\,\dot{F}e^5\,\dddot{P}h + 5\,Aq$? ; $\dot{F}e^8\,\dddot{P}h^3, Aq$

Antimoniates.

Plusieurs antimoniates des laboratoires correspondent aux arséniates.
Il y en a des indices dans la nature.

Arséniates.

Tribu		
	Mimétèse	$3\dot{P}b^3\dddot{A}r + Pb\,Ch^2$
	Olivénite	$\dot{C}u^5\dddot{A}r$
	Pharmacolite	$\dot{C}a^2\dddot{A}r + 6\,Aq$
	Haidingérite	$\dot{C}a^2\dddot{A}r + 3\,Aq$
	Arsénicite	$\dot{C}a^5\dddot{A}r^2 + 15\,Aq$
	Erinite	$3\,\dot{C}u^5\dddot{A}r + 5\,Aq$?
	Aphanèse	$2\,\dot{C}u^5\dddot{A}r + 15\,Aq$?
	Liroconite	$\dot{C}u^5\dddot{A}r + 5\,\dot{C}u\,Aq$?
	Scorodite	$\dot{F}e\dddot{A}r + 4\,Aq$

Phosphates.

Apatite	$3\dot{C}a^3\dddot{P}h + \begin{cases} Ca\,Ch^2 \\ Ca\,Fl^2 \end{cases}$ suiv.
Pyromorphite	$3\dot{P}b^3\dddot{P}h + Ca\,Fl^2$ suiv.
Wagnerite	$\dot{M}a^3\dddot{P}h + Ma\,Fl^2$
Xenotime	$\dot{Y}^3\dddot{P}h$
Triplite	$(\dot{F}e^4 + \dot{M}n^4)\dddot{P}h$?
Triphylline	$6\,(\dot{M}n^3, \dot{F}e^3)\dddot{P}h + \dot{L}^3\dddot{P}h$
Phosphate de cuivre	$\dot{C}u^4\dddot{P}h$
Klaprothine	$\dot{M}a^5\dddot{P}h + \dot{A}l^5\dddot{P}h^3$?
Ambligonite	$\dot{L}^4\dddot{P}h + \dot{A}l^4\dddot{P}h^3$
Aphérèse	$\dot{C}u^4\dddot{P}h + 2\,Aq$?
Ypoleime	$\dot{C}u^5\dddot{P}h + 5\,Aq$?
Sans nom	$\dot{C}u^5\dddot{P}h^2 + 5\,\dot{C}u\,Aq$
Hureaulite	$(\dot{F}e^5 + 3\dot{M}n^5)\dddot{P}h + 30\,Aq$?
Hétérosite	$(2\,\dot{F}e^5 + \dot{M}n^5)\dddot{P}h + 5\,Aq$?
Phosphates de fer	$\begin{cases} \dot{F}e^3\dddot{P}h,\,Aq \\ \dot{F}e^4\dddot{P}h,\,Aq \\ 2\,\dot{F}e^5\dddot{P}h + 5\,Aq\,? \\ \dot{F}e^8\dddot{P}h^3,\,Aq \end{cases}$

Antimoniates.

Arséniates.

Pharmacosidérite

Sidérétine

Nickelocre
Erytrine

Antimonites.

Antimonite de nickel

Kermes (Sb^2Su^3)^2 $\dddot{S}b$

Arsénites.

Rodoïse

Néoplase

Condurite

CINQUIÈM

Tellurides.

Tellure Te

Telluriures.

Telluriure de plomb Pb Te
— d'argent Ag Te

Phosphates.

$\dot{e}^3\,\dddot{A}r + \dddot{F}e^2\,\dddot{A}r^2 + 18\ Aq$

$\dot{e}^5\,\dddot{A}r^9 + 45\ Aq$

Delvaulxine $\dddot{F}e^6\,\ddot{P}h + 45\ Aq$

$i^3\,\dddot{A}r + 9\ Aq$

$o^3\,\dddot{A}r + 9\ Aq$

Kakoxène $\ddot{A}l\,\ddot{P}h^3 + 3\ Aq$?

Wawelite $(\ddot{A}l^4\,\ddot{P}h^3 + 18\ Aq) + Al\,Fl^3$

Uranite $\dot{C}a^2\,\ddot{P}h + \ddot{U}^4\,\ddot{P}h + 16\ Aq$

Chalkolite $\dot{C}u^2\,\ddot{P}h + \ddot{U}^4\,\ddot{P}h + 16\ Aq$

$o,\,\dddot{A}r$?

$i^2\,\dddot{A}r + 18\ Aq$?

$u^6\,\dddot{A}r + 4\ Aq$?

SSE.

Sélénides.

Séléniures.

Berzeline	$Cu^2\,Se$
Clausthalie	$Pb\,Se$
Séléniure d'argent	$Ag\,Se$

Sélénio-Sulfures.

Sans nom $Hg\,Se + 4Hg\,Su$

Sulfurides.

Soufre Su

Sulfures.

Sulfure d'hydrogène	$Hy^2\,Su$	
Chalkosine	$Cu^2\,Su$	
Galène	$Pb\,Su$	genres, tribus.
Argyrose	$Ag\,Su$	
Blende	$Zn\,Su$	
Alabandine	$Mn\,Su$	
Harkise	$Ni\,Su$	
Covelline	$Cu\,Su$	

Antimoniates.

Arséniates.

Pharmacosidérite	$\dot{\dot{F}}e^3\,\dot{\dot{A}}r + \dot{\dot{F}}e^2\,\dot{\dot{A}}r^2 + 18\ Aq$
Sidérétine	$\dot{\dot{F}}e^5\,\dot{\dot{A}}r^9 + 45\ Aq$
Nickelocre	$\dot{N}i^3\,\dot{\dot{A}}r + 9\ Aq$
Erytrine	$\dot{C}o^3\,\dot{\dot{A}}r + 9\ Aq$

Phosphates.

Delvaulxine	$\dot{\dot{F}}e^6\,\dot{\dot{P}}h + 45\ Aq$
Kakoxène	$\dot{\dot{A}}l\,\dot{\dot{P}}h^3 + 3\ Aq$?
Wawelite	$(\dot{\dot{A}}l^4\,\dot{\dot{P}}h^3 + 18\ Aq) + Al\,Fl^3$
Uranite	$\dot{C}a^2\,\dot{\dot{P}}h + \dot{\dot{U}}^4\,\dot{\dot{P}}h + 16\ Aq$
Chalkolite	$\dot{C}u^2\,\dot{\dot{P}}h + \dot{\dot{U}}^4\,\dot{\dot{P}}h + 16\ Aq$

Antimonites.

Arsénites.

Antimonite de nickel	
Kermes $(Sb^2Su^3)^2\,\dot{\dot{S}}b$	
Rodoïse	$\dot{C}o,\,\dot{\dot{A}}r$?
Néoplase	$\dot{N}i^2\,\dot{\dot{A}}r + 18\ Aq$?
Condurite	$\dot{C}u^6\,\dot{\dot{A}}r + 4\ Aq$?

CINQUIÈME CLASSE.

Tellurides.

Tellure Te

Telluriures.

Telluriure de plomb Pb Te
— d'argent Ag Te

Sélénides.

Séléniures.

Berzeline	$Cu^2\,Se$
Clausthalie	$Pb\,Se$
Séléniure d'argent	$Ag\,Se$

Sélénio-Sulfures.

Sans nom $Hg\,Se + 4Hg\,Su$

Sulfurides.

Soufre Su

Sulfures.

Sulfure d'hydrogène	$Hy^2\,Su$	
Chalkosine	$Cu^2\,Su$	
Galène	$Pb\,Su$	genres, tribus.
Argyrose	$Ag\,Su$	
Blende	$Zn\,Su$	
Alabandine	$Mn\,Su$	
Harkise	$Ni\,Su$	
Covelline	$Cu\,Su$	

Telluriures doubles?

Bornine $Bi\,Te^2 + Bi\,Su$

Elasmose $4Pb\,Te + 2Pb\,Su + Au\,Te$

Blatterez $Au\,Te^3 + Sb^2\,Su^3 + 9Pb\,Su$

Mullerine $(Pb, Ag)\,Te + Au\,Te$

Sylvane $Ag\,Te + 3Au\,Te$

---

* C'est pour ces sortes de composés surtout qu'on simplifie beaucoup les formules en représentant le soufre par des *virgules* au-dessus du signe. Ainsi on a

Stannine $\dot{C}u^2\,\dddot{S}n + \ddot{F}e^2\,\dddot{S}n$ Bournonite $\dot{C}u^3\,\dddot{S}b + 2\dot{P}b^3$

Polybasite $\dot{C}u^9\,\dddot{S}b + 4\dot{A}g^9\,\dddot{S}b$ Panabase $\dot{F}e^4\,\dddot{S}b + 2\dot{C}u^3$

** Ou plus simplement encore : $Sb^2\,Su^3 + 9(Cu^2, Ag)\,Su$

Sulfures.

Cinabre	$Hg\,Su$	
Réalgar	$Ar\,Su$	
Pyrite / Sperkise	$Fe\,Su^2$	Type de tribu.
Molybdénite	$Mo\,Su^2$	
Coboldine	$Co^2\,Su^3$	
Bismuthine	$Bi^2\,Su^3$	
Stibine	$Sb^2\,Su^3$	genre.
Orpiment	$Ar^2\,Su^3$	

Séléniures doubles.

Sans nom	$4Zn\,Se + Hg\,Se^3$
Tuchairite	$Cu^2Se + Ag\,Se$
Sans nom	$Cu\,Se + 2Pb\,Se$?
Sans nom	$Cu\,Se + 4Pb\,Se$
Sans nom	$Co\,Se^2 + 6Pb\,Se$
Sans nom	$Hg\,Se + 3Pb\,Se$

Sulfures doubles.

Marmatite	$3Zn\,Su + Fe\,Su$	
Leberkise	$Fe\,Su^2 + 6Fe\,Su$	
Stromeyerine	$Cu^2\,Su + Ag\,Su$	
Phillipsite	$2Cu^2\,Su + Fe\,Su$	
Chalcopyrite	$Cu^2\,Su + Fe\,Su$	
Zinkenite	$Sb^2\,Su^3 + Pb\,Su$	genre.
Myargyrite	$Sb^2\,Su^3 + Ag\,Su$	genre.
Federerz	$Sb^2\,Su^3 + 2Pb\,Su$	
Jamesonite	$2Sb^2\,Su^3 + 3Pb\,Su$	genre.
Argyrithrose	$Sb^2\,Su^3 + 3Ag\,Su$	genre.
Proustile	$Ar^2\,Su + 3Ag\,Su$	genre.
Haidingérite	$2Sb^2\,Su^3 + 3Fe\,Su$	genre.
Psaturose	$Sb^2\,Su^3 + 6Ag\,Su$	genre.

Sulfures multiples.

Bournonite	$Sb^2\,Su^3 + 2Pb\,Su + Cu^2\,Su$, *ou bien* $(Sb^2\,Su^3 + 3Cu^2\,Su) + 2(Sb^2\,Su^3 + 3Pb\,Su)$*
Polybasite	$5Sb^2\,Su^3 + 9Cu^2\,Su + 36Ag\,Su$, *ou* $(Sb^2\,Su^3 + 9Cu^2\,Su) + 4(Sb^2\,Su^3 + 9Ag\,Su)$**
Panabase	$3Sb^2\,Su^3 + 4Fe\,Su + 8Cu^2\,Su$, *ou* $(Sb^2\,Su^3 + 4Fe\,Su) + 2(Sb^2\,Su^3 + 4Cu^2\,Su)$
Stannine	$Sn\,Su + Cu^2\,Su + Fe\,Su^2$, *ou* $(Sn\,Su + 2Cu^2\,Su) + (Sn\,Su + 2Fe\,Su^2)$

Telluriures doubles?

Bornine	$Bi\,Te^2 + Bi\,Su$
Elasmose	$4Pb\,Te + 2Pb\,Su + Au\,Te$
Blatterez	$Au\,Te^3 + Sb^2\,Su^3 + 9Pb\,Su$
Mullerine	$(Pb, Ag)\,Te + Au\,Te$
Sylvane	$Ag\,Te + 3Au\,Te$

Séléniures doubles.

Sans nom	$4Zn\,Se + Hg\,Se^3$
Euchairite	$Cu^2Se + Ag\,Se$
Sans nom	$Cu\,Se + 2Pb\,Se$?
Sans nom	$Cu\,Se + 4Pb\,Se$
Sans nom	$Co\,Se^2 + 6Pb\,Se$
Sans nom	$Hg\,Se + 3Pb\,Se$

Sulfures.

Cinabre	$Hg\,Su$	
Réalgar	$Ar\,Su$	
Pyrite, Sperkise	$Fe\,Su^2$	Type de tribu.
Molybdénite	$Mo\,Su^2$	
Coboldine	Co^2Su^3	
Bismuthine	$Bi^2\,Su^3$	
Stibine, Orpiment	$Sb^2\,Su^3$ / Ar^2Su^3	genre.

Sulfures doubles.

Marmatite	$3Zn\,Su + Fe\,Su$
Leberkise	$Fe\,Su^2 + 6Fe\,Su$
Stromeyerine	$Cu^2Su + Ag\,Su$
Phillipsite	$2Cu^2\,Su + Fe\,Su$
Chalcopyrite	$Cu^2Su + Fe\,Su$

Zinkenite, Myargyrite	$Sb^2\,Su^3 + Pb\,Su$ / $Sb^2\,Su^3 + Ag\,Su$	genre.
Federerz	$Sb^2\,Su^3 + 2Pb\,Su$	
Jamesonite, Argyrithrose, Proustile, Haidingérite	$2Sb^2\,Su^3 + 3Pb\,Su$ / $Sb^2\,Su^3 + 3Ag\,Su$ / $Ar^2\,Su + 3Ag\,Su$ / $2Sb^2\,Su^3 + 3Fe\,Su$	genre.
Psaturose	$Sb^2\,Su^3 + 6Ag\,Su$	

Sulfures multiples.

Bournonite	$Sb^2\,Su^3 + 2Pb\,Su + Cu^2\,Su$, *ou bien* $(Sb^2\,Su^3 + 3Cu^2\,Su) + 2(Sb^2\,Su^3 + 3Pb\,Su)$*
Polybasite	$5Sb^2\,Su^3 + 9Cu^2\,Su + 36Ag\,Su$, *ou* $(Sb^2\,Su^3 + 9Cu^2\,Su) + 4(Sb^2Su^3 + 9Ag\,Su)$**
Panabase	$3Sb^2\,Su^3 + 4Fe\,Su + 8Cu^2\,Su$, *ou* $(Sb^2\,Su^3 + 4Fe\,Su) + 2(Sb^2\,Su^3 + 4Cu^2\,Su)$
Stannine	$Sn\,Su + Cu^2\,Su + Fe\,Su^2$, *ou* $(Sn\,Su + 2Cu^2\,Su) + (Sn\,Su + 2Fe\,Su^2)$

* C'est pour ces sortes de composés surtout qu'on simplifie beaucoup les formules en représentant le soufre par des *virgules* au-dessus du signe. Ainsi on a

Stannine $\dot{C}u^2\,\dddot{S}n + \ddot{F}e^2\,\dddot{S}n$ — Bournonite $\dot{C}u^3\,\dddot{S}b + 2\ddot{P}b^3$

Polybasite $\dot{C}u^9\,\dddot{S}b + 4\dot{A}g^9\,\dddot{S}b$ — Panabase $\ddot{F}e^4\,\dddot{S}b + 2\dot{C}u^6$

** Ou plus simplement encore : $Sb^2\,Su^3 + 9(Cu^2, Ag)\,Su$

Aci

Acide sulfureux $\dot{S}u$

Sulfates simples anhydres.

Genre	Anglésine	$Pb\ Su^3$
	Barytine	$Ba\ Su^3$
	Célestine	$Sr\ Su^3$
	Karsténite	$Ca\ Su^3$
	Thenardite	$Na\ Su^3$
	Aphthalose	$K\ Su^3$

Sulfates simp

Gypse
Exanthalos

Epsomite
Gallitzinite
Rhodhalose
Mélantheri
Cyanose
Brochantite
Pittizite

Alunogène
Websterite

SIXIÈ

Chlorides.		**Bromides.**
Chlore	Ch	
Chlorure d'hydrogène	Hy Ch	
Calomel	Hg Ch	
Kérargyre	Ag Ch^2	Bromure d'argent Ag Br^2
Chlorure de calcium	Ca Ch^2	
Chlorure de magnésium	Ma Ch^2	
Salmare	Na Ch^2	
Sylvine	K Ch^2	
Kérasine	Pb Ch^2 + 2$\dot{P}b$	
Atakamite	Cu Ch^2 + 3$\dot{C}u$ + 3Aq	
	Cu Ch^2 + 4$\dot{C}u$ + 4Aq	
Salmiac	(Az $Hy^3)^2$ + (Hy Ch)	

soufre.

cide sulfurique $\dot{S}u$ ou Su

lratés.

Sulfates doubles anhydres.

Célestine de Mœn	$2Sr\ Su^3 + Ba\ Su^3$?
Idem de Norten	$5Sr\ Su^3 + Ca\ Su^3$
Glaubérite	$Ca\ Su^3 + Na\ Su^3$
Polyhalites	$\left\{\begin{array}{l} 2(Ca,\ Ma)\ Su^3 + Na\ Su^3 \\ 2(Ca,\ Ma)\ Su^3 + K\ Su^3 \end{array}\right.$

$Ia\ Su^3 + Aq$
$Ia\ Su^3 + 2\ Aq$

$Ia\ Su^3 + 5Aq$)
$'n\ Su^3 + 5Aq$)
$'o\ Su + 7Aq$)
$\cdot\ Su^3 + 7Aq$)
$'u\ Su^3 + 5Aq$
$'u^4\ Su^3 + Aq$?
$'e^2\ Su + 2Aq$
$'e^4\ Su + 4Aq$

Sulfates doubles hydratés.

Néoplase	$fe\ Su^2 + 3Fe\ Su^2 + 12Aq$
Alun	$5Al\ Su^3 + K\ Su^3 + 24Aq$
Alunite	$3Al\ Su + K\ Su^3 + 9Aq$

$l\ Su^3 + 6Aq$
$l\ Su + 3Aq$

SSE.

Iodides

odure d'argent $Ag\ I^2$
— de mercure $Hg\ \dot{I}^2$?

Fluorides.

Fluorine	$Ca\ Fl^2$
Yttrocérite	$Y\ Fl^2$
Flucérine	$Ce\ Fl^3$
Cryolite	$2Al\ Fl^3 + 3Na\ Fl^2$
Basicérine	$3Ce\ Fl^2 + Aq$ } Hydrates.
Sans nom	$Ce\ Fl^2 + Aq$ } Hydrates.
Topaze	$4Al\ Fl^2 + 3\dot{A}l\ \dot{S}i$ } Fluosilicates.
Picnite	$2Al\ Fl^3 + 3\dot{A}l\ \dot{S}i$ } Fluosilicates.
Condrodite	$Ma\ Fl^2 + \dot{M}a^3\ \dot{S}i$ } Fluosilicates.
Micas divers	} Fluosilicates.

Acid

Acide sulfureux S *du soufre.*

Acide sulfurique $\dot{S}u$ ou *Su*

Sulfates simples anhydres.

Genre	Anglésine	$Pb\ Su^3$
	Barytine	$Ba\ Su^3$
	Célestine	$Sr\ Su^3$
	Karsténite	$Ca\ Su^3$
	Thenardite	$Na\ Su^3$
	Aphthalose	$K\ Su^3$

Sulfates simp

hydratés.

Gypse	
Exanthalos	$Ca\ Su^3 + Aq$
	$Na\ Su^3 + 2\ Aq$
Epsomite	
Gallitzinite	$Ma\ Su^3 + 5Aq$
Rhodhalos	$Zn\ Su^3 + 5Aq$
Mélantheri	$Co\ Su + 7Aq$
Cyanose	$fe\ Su^3 + 7Aq$
Brochantit	$Cu\ Su^3 + 5Aq$
Pittizite	$Cu^4\ Su^3 + Aq\ ?$
	$Fe^2\ Su + 2Aq$
	$Fe^4\ Su + 4Aq$
Alunogène	
Websterite	$Al\ Su^3 + 6Aq$
	$Al\ Su + 3Aq$

Sulfates doubles anhydres.

Célestine de Mœn	$2Sr\ Su^3 + Ba\ Su^3$?
Idem de Norten	$5Sr\ Su^3 + Ca\ Su^3$
Glaubérite	$Ca\ Su^3 + Na\ Su^3$
Polyhalites	$2(Ca, Ma)\ Su^3 + Na\ Su^3$
	$2(Ca, Ma)\ Su^3 + K\ Su^3$

Sulfates doubles hydratés.

Néoplase	$fe\ Su^2 + 3Fe\ Su^2 + 12Aq$
Alun	$5Al\ Su^3 + K\ Su^3 + 24Aq$
Alunite	$3Al\ Su + K\ Su^3 + 9Aq$

SIXIÈ

CLASSE.

Chlorides.

Chlore	Ch
Chlorure d'hydrogène	Hy Ch
Calomel	Hg Ch
Kérargyre	Ag Ch^2
Chlorure de calcium	Ca Ch^2
Chlorure de magnésium	Ma Ch^2
Salmare	Na Ch^2
Sylvine	K Ch^2
Kérasine	Pb $Ch^2 + 2\dot{P}b$
Atakamite	Cu $Ch^2 + 3\dot{C}u + 3Aq$
	Cu $Ch^2 + 4\dot{C}u + 4Aq$
Salmiac	$(Az\ Hy^3)^2 + (Hy\ Ch)$

Bromides.

Bromure d'argent Ag Br^2

Iodides

Iodure d'argent Ag I^2

— de mercure Hg I^2 ?

Fluorides.

Fluorine	Ca Fl^2
Yttrocérite	Y Fl^2
Flucérine	Ce Fl^3
Cryolite	$2Al\ Fl^3 + 3Na\ Fl^2$
Basicérine	$3Ce\ Fl^2 + Aq$ (Hydrates.)
Sans nom	$Ce\ Fl^2 + Aq$ (Hydrates.)
Topaze	$4Al\ Fl^2 + 3\dot{A}l\ \dddot{S}i$ (Fluosilicates.)
Picnite	$2Al\ Fl^3 + 3\dot{A}l\ \dddot{S}i$ (Fluosilicates.)
Condrodite	$Ma\ Fl^2 + Ma^3\ \dddot{S}i$ (Fluosilicates.)
Micas divers	(Fluosilicates.)

Hydrogénides.		Azotides.	
Hydrogène	Hy	Azote et air atmosphérique	
Eau	Hy ou *Aq*	Ammoniaque	$Hy^3\,Az$
Hydrates divers.		Salpêtre	$K\,Az$
		Azotate de soude	$Na\,Az$
		— de chaux	$Ca\,Az$
		— de magnésie	$Ma\,Az$

Sels organiques.

Mellite Guano Humboldtite.

Carbonates anhydres rhomboédriques.

Genre				
	Calcaire	$Ca\ C^2$		
	Giobertite	$Ma\ C^2$	Dolomie	$Ca\,C^2 + Ma\,C^2$
	Sidérose	$fe\ C^2$		
	Diallogite	$mn\ C^2$		
	Carbocérine	$ce\ C^2$		
	Smithsonite	$Zn\ C^2$		

Carbonates hydratés.

Mysorine	$Cu\ C.$	Malachite	$2Cu\ C + Aq$	
		Sans nom	$Ma\ C^2 + Aq$	
		Sans nom	$3Ma\,C^2 + Aq$	
		Natron	$Na\ C^2 + Aq$	Gay-Lussite
		Urao	$Na\ C^3 + 2\,Aq$	

S SE.

Carbonides.

Carbone.

Diamant C.
Graphite C
Anthracite
Houille
Lignite
Bois altérés
Terre de Cologne
Tourbe
Terreau

Carbures.

Grisou $Hy^4\ C$
Naphte $Hy\ , C$
Scheererite
Hatchetine $Hy^2\ C$
Elaterite
Dusodile
Malthe
Asphalte
Rétinasphalte
Succin

Acides.

Acide carbonique $\dot{\dot{C}}$ ou C Acide oxalique $\dot{\dot{\dot{C}}}$.

Carbonates anhydres prismatiques.

Genre ?
- Aragonite $Ca\ C^2$
- Junckerite $fe\ C^2$
- Witherite $Ba\ C^2$
- Strontianite $Sr\ C^2$
- Céruse $Pb\ C^2$

Baryto-calcite $Ba\ C^2 + Ca\ C^2$

Carbonates sulfatifères.

Stromnite $4Sr\ C^2 + Ba\ Su^3$
Lanarkite $Pb\ C^2 + Pb\ Su^3$
Leadhillite $3Pb\ C^2 + Pb\ Su^3$
Calédonite $2Pb\ C^2 + Cu\ C^2 + 3Pb\ Su^3$

Carbonates hydratifères

Azurite $2Cu\ C^2 + Cu\ Aq$

Magnesia alba $3Ma\ C^2 + Ma\ Aq^4$

$Na\ C^2 + Ca\ C^2 + 5Aq$

Zinconise $3Zn\ C^2 + Zn\ Aq^3$

Hydrogénides.

Hydrogène Hy
Eau Hy ou *Aq*
Hydrates divers.

Azotides.

Azote et air atmosphérique
Ammoniaque $Hy^3\ \dot{\dot{A}}z$
Salpêtre $\dot{K}\ \dot{\dot{A}}z$
Azotate de soude $\dot{N}a\ \dot{\dot{A}}z$
— de chaux $\dot{C}a\ \dot{\dot{A}}z$
— de magnésie $\dot{M}a\ \dot{\dot{A}}z$

Sels organiques.

Mellite Guano Humboldtite.

Carbonates anhydres rhomboédriques.

Genre
- Calcaire *Ca* C^2
- Giobertite *Ma* C^2
- Sidérose *fe* C^2
- Diallogite *mn* C^2
- Carbocérine *ce* C^2
- Smithsonite *Zn* C^2

Dolomie $Ca\ C^2 + Ma\ C^2$

Carbonates hydratés.

Mysorine *Cu C.*

Malachite $2Cu\ C + Aq$
Sans nom $Ma\ C^2 + Aq$
Sans nom $3Ma\ C^2 + Aq$
Natron $Na\ C^2 + Aq$
Urao $Na\ C^3 + 2\ Aq$

Gay-Lussite $Na\ C^2 + Ca\ C^2 + 5Aq$

Carbonides.

Carbone.

Diamant C.
Graphite C
Anthracite
Houille
Lignite
Bois altérés
Terre de Cologne
Tourbe
Terreau

Carbures.

Grisou $Hy^4\ C$
Naphte $Hy_2\ C$
Scheererite
Hatchetine $Hy^2\ C$
Elaterite
Dusodile
Malthe
Asphalte
Rétinasphalte
Succin

Acides

Acide carbonique $\dot{\dot{C}}$ ou *C* Acide oxalique $\dot{\dot{\dot{C}}}$.

Carbonates anhydres prismatiques.

Aragonite *Ca* C^2

Genre?
- Junckerite *fe* C^2
- Witherite *Ba* C^2
- Strontianite *Sr* C^2
- Céruse *Pb* C^2

Baryto-calcite $Ba\ C^2 + Ca\ C^2$

Carbonates sulfatifères.

Stromnite $4Sr\ C^2 + Ba\ Su^3$
Lanarkite $Pb\ C^2 + Pb\ Su^3$
Leadhillite $3Pb\ C^2 + Pb\ Su^3$
Calédonite $2Pb\ C^2 + Cu\ C^2 + 3Pb\ Su^3$

Carbonates hydratifères

Azurite $2Cu\ C^2 + Cu\ Aq$
Magnesia alba $3Ma\ C^2 + Ma\ Aq^4$
Zinconise $3Zn\ C^2 + Zn\ Aq^3$

HUITIÈ

Borides.

Sassoline *Bo Aq*

Borates.

Datholi
Botryol

Boracite *Ma Bo*^{4}
Borate de chaux
Borate de fer
Borax *Na Bo*^{6} + 10 *Aq*

Silicates sim

Hydr

Anhydres.

Staurotide *(Al, Fe)*^{4} *Si*
Disthène *Al*^{2} Si

Collyrite

Sillimanite *Al Si*
Kaolin
Marceline *Mn Si*?

{Lenzinite
{Pholérite

Triklasite
Nontronite *Fe Si*^{2} + *A*
Sévérite
Cymolite
Terre de Riégate
Argiles diverses

Lœlite *Al Si*^{4}

Silicates doubles alumin

Anhydres à

Émeraude *Al Si* + *Gl Si*

Anhydres calcaires, ferreux, etc.

Anh

Andalousi

Tribu et genres.

Gehlénite *Al*^{2} *Si* + 2*Ca Si*
Grossulaire *Al Si* + *Ca Si*
Mélanite *Fe Si* + *Ca Si*
Almandine *Al Si* + *fe Si*
Spessartine *Al Si* + *mn Si*
Idocrase *Al Si* + *Ca Si*
Cérine *Al Si* + *ce Si*
Jlvaite *Fe Si* + 2(*Ca, fe, mn*) *Si*

SSE.

Silicides.

Quartz	Si ou Si
Calcédoine	
Opale	Si, Aq

Borosilicates.

$a\ Bo^3 + Ca\ Si^4 + Aq$
$a\ Bo^3 + 3Ca\ Si^2 + 2Aq$

mineux, ferriques, etc.

Hydratifères.

$l^3\ Si + 5Aq$

Allophane	$2Al\ Si + Al\ Aq^6$
Autre altérée	$2Al\ Si + Al\ Aq^2$
Autre de Beauvais	$5(AlSi + 3Aq) + AlAq$
Halloysite	$2Al\ Si^2 + Al\ Aq^4$
— desséchée	$2Al\ Si^2 + Al\ Aq^2$
— de Bayonne	$Al\ Si^3 + Al\ Aq^2$
Savon de montagne	$Al\ Si^3 + Al\ Aq$

$4lSi + Aq$
$3Al\ Si + Aq$
$3Al\ Si + 2Aq$
$Al\ Si^2 + Aq$

$Al\ Si^2 + 2Aq$
$Al\ Si^3 + Aq$
$Al\ Si^4 + 3Aq$

ferriques, avec diverses bases.

glucine.

Euclase $Al^2\ Si + 2Gl\ Si$

alins. *Hydrates.*

$9Al^2\ Si + K\ Si$

HUITIÈME CLASSE.

Borides.

Sassoline $Bo\,Aq$

Borates.

Boracite $Ma\,Bo^4$
Borate de chaux
Borate de fer
Borax $Na\,Bo^6 + 10\,Aq$

Borosilicates.

Datholite $Ca\,Bo^3 + Ca\,Si^4 + Aq$
Botryolite $Ca\,Bo^3 + 3Ca\,Si^2 + 2Aq$

Silicides.

Quartz
Calcédoine
Opale

Si ou Si
$Si,\ Aq$

Silicates simples alumineux, ferriques, etc.

Anhydres.

Staurotide $(Al, Fe)^4\,Si$
Disthène $Al^2\,Si$

Sillimanite $Al\,Si$
Kaolin
Marceline $Mn\,Si$?

Lœlite $Al\,Si^4$

Hydr

Collyrite $Al^3\,Si + 5Aq$

Lenzinite $AlSi + Aq$
Pholérite $5Al\,Si + Aq$ / $3Al\,Si + 2Aq$

Triklasite $Al\,Si^2 + Aq$
Nontronite $Fe\,Si^2 + A$
Sévérite $Al\,Si^2 + 2Aq$
Cymolite $Al\,Si^3 + Aq$
Terre de Riégate $Al\,Si^4 + 3Aq$
Argiles diverses

Hydratifères.

Allophane $2Al\,Si + Al\,Aq^6$
Autre altérée $2Al\,Si + Al\,Aq^2$
Autre de Beauvais $5(Al\,Si + 3Aq) + Al\,Aq$
Halloysite $2Al\,Si^2 + Al\,Aq^4$
— desséchée $2Al\,Si^2 + Al\,Aq^2$
— de Bayonne $Al\,Si^3 + Al\,Aq^2$
Savon de montagne $Al\,Si^3 + Al\,Aq$

Silicates doubles alumin[eux] ou ferriques, avec diverses bases.

Anhydres à [base] glucine.

Émeraude $Al\,Si + Gl\,Si$ Euclase $Al^2\,Si + 2Gl\,Si$

Anhydres calcaires, ferreux, etc.

Tribu et genres.

Gehlénite $Al^2\,Si + 2Ca\,Si$
Grossulaire $Al\,Si + Ca\,Si$
Mélanite $Fe\,Si + Ca\,Si$
Almandine $Al\,Si + fe\,Si$
Spessartine $Al\,Si + mn\,Si$
Idocrase $Al\,Si + Ca\,Si$
Cérine $Al\,Si + ce\,Sl$
Jlvaite $Fe\,Si + 2(Ca, fe, mn)\,Si$

Anhy[dres] alcalins.

Andalousite $9Al^2\,Si + K\,Si$

Hydrates.

Silicates doubles alumineux

Anhydres calcaires, ferreux, etc. — *Anhydr*

	Méïonite	$2Al\,Si + Ca\,Si$	
Tribu et genres	Zoïsite	$2Al\,Si + Ca\,Si$	
	Thallite	$2Al\,Si + fe\,Si$	
	Wernérite	$3Al\,Si + Ca\,Si$	
	Peliom	$3Al\,Si + fe\,Si$	Néphéline
	Cordiérite	$3Al\,Si + Ma\,Si^2$	
	Labradorite	$3Al\,Si + Ca\,Si^3$	Rhyacolite
	Dipyre	$3Al\,Si^2 + (Ca, Na, K)^2\,Si$	Gieseckite Gabronite Pinite Amphigène
			Oligoclase Triphane Achmite
Genre	Carnatite Rétinite, obsidienne, ponce, etc.	$3Al\,Si^3 + Ca\,Si^3$	Orthose Albite Petalite
			Murkisonite Adinole

Silicat

Carpholite	$3Al\,Si + mn\,Si + 2Aq$	
Ripidolite	$6Al\,Si + 3(Ma, fe)^2Si + Aq$	Chlorite hexagonale
Pimelite	$Al\,Si^2 + 2Ni\,Si^3 + 13Aq$	Pennine
Hisingerite	$Al\,Si^2 + 4fe\,Si + 4Aq$	Terres vertes alumineu-
Sidéroschisolite	$Al\,Si^2 + 2fe\,Si^4 + 3Aq$	ses, chlorites diverses.

rriques, avec diverses bases.

s. *Hydratés.*

$Al\,Si + Na\,Si$	Thomsonite	$3Al\,Si + Ca\,Si + 2Aq$
	Mesotype	$3Al\,Si + Na\,Si^2 + 2Aq$
$Al\,Si + (Na, K)\,Si^3$	Scolézite	$3Al\,Si + Ca\,Si^3 + 3Aq$
	Traulite	$3Fe\,Si + fe\,Si^2 + 5Aq$
	Edingtonite	$4Al\,Si + Ca\,Si + 4Aq$
	Davyne	$5Al\,Si + Ca\,Si^2 + 2Aq$
$Al\,Si + K\,Si^3$		
$Al\,Si^2 + Na\,Si$		
$Al\,Si^2 + K\,Si$		
$Al\,Si^2 + K\,Si^2$	Analcime	$3Al\,Si^2 + Na\,Si^2 + 2Aq$
	Laumonite	$3Al\,Si^2 + Ca\,Si^2 + 2Aq$
$Al\,Si^2 + Na\,Si^3$	Chabasie	$3Al\,Si^2 + Ca\,Si^3 + 6Aq$
$Al\,Si^2 + L\,Si^3$		
$Fe\,Si^2 + Na\,Si^3$		
	Hydrolite	$4Al\,Si^2 + (Na, Ca)\,Si^3 + 8Aq$
	Harmotome	Al, Ba, Si, Aq
	Gismondine	$(Ca, K)^2\,Al^6\,Si^9\,Aq^6$
	Hypostilbite	$3Al\,Si^3 + Ca\,Si + 6Aq$
	Sphérostilbite	$3Al\,Si^3 + Ca\,Si^2 + 6Aq$
$Al\,Si^3 + K\,Si^3$	Stilbite	$3Al\,Si^3 + Ca\,Si^3 + 6Aq$
$Al\,Si^3 + Na\,Si^3$	Epistilbite	$3Al\,Si^3 + Ca\,Si^3 + 5Aq$
$Al\,Si^3 + L\,S^3$	Heulandite	$4Al\,Si^3 + Ca\,Si^3 + 6Aq$
	Brewstérite	$4Al\,Si^3 + Ca\,Si^3 + 8Aq$
$Al\,Si^4 + K\,Si^3$		
$Al\,Si^6 + Na\,Si^3$		

eux.

$Al\,Si + 6Ma\,Si + Ma\,Aq^2$	*Alumino-Silicates.*	
$Al\,Si^2 + 3Ma^2\,Si + 2Ma\,Aq$	Chamoisite	$2fe\,Si + fe^2\,Al + 4Aq$
$l, fe, Ma, Ca, K, Ne, Si, Aq$	Berthiérine	$2fe\,Si + fe^3\,Al + Aq$
	Pagodite	$(Al, Si).\,(K, Al), Aq$
	Margarite	$Al\,Si^5 + Ca\,Al^4$
	Saphirine	$Al\,Si + (Ma, Ca, f)\,Al^3$

Silicates doubles alumineux, ferriques, avec diverses bases.

Anhydres calcaires, ferreux, etc.

Méïonite $2Al\,Si + Ca\,Si$

Tribu et genres
- Zoïsite $2Al\,Si + Ca\,Si$
- Thallite $2Al\,Si + fe\,Si$

- Wernérite $3Al\,Si + Ca\,Si$
- Peliom $3Al\,Si + fe\,Si$
- Cordiérite $3Al\,Si + Ma\,Si^2$

Labradorite $3Al\,Si + Ca\,Si^3$

Dipyre $3Al\,Si^2 + (Ca, Na, K)^2\,Si$

Genre
- Carnatite $3Al\,Si^3 + Ca\,Si^3$
- Rétinite, obsidienne, ponce, etc.

Anhydres alcalins.

Néphéline $3Al\,Si + Na\,Si$

Rhyacolite $3Al\,Si + (Na, K)\,Si^3$

Gieseckite $6Al\,Si + K\,Si^3$
Gabronite $3Al\,Si^2 + Na\,Si$
Pinite $3Al\,Si^2 + K\,Si$
Amphigène $3Al\,Si^2 + K\,Si^2$

- Oligoclase $3Al\,Si^2 + Na\,Si^3$
- Triphane $3Al\,Si^2 + L\,Si^3$

Achmite $3Fe\,Si^2 + Na\,Si^3$

Orthose $3Al\,Si^3 + K\,Si^3$
Albite $3Al\,Si^3 + Na\,Si^3$
Petalite $3Al\,Si^3 + L\,S^3$

Murkisonite $3Al\,Si^4 + K\,Si^3$
Adinole $3Al\,Si^6 + Na\,Si^3$

Hydratés.

Thomsonite $3Al\,Si + Ca\,Si + 2Aq$

Mesotype $3Al\,Si + Na\,Si^2 + 2Aq$
Scolézite $3Al\,Si + Ca\,Si^3 + 3Aq$
Traulite $3Fe\,Si + fe\,Si^2 + 5Aq$
Edingtonite $4Al\,Si + Ca\,Si + 4Aq$
Davyne $5Al\,Si + Ca\,Si^2 + 2Aq$

Analcime $3Al\,Si^2 + Na\,Si^2 + 2Aq$
Laumonite $3Al\,Si^2 + Ca\,Si^2 + 2Aq$
Chabasie $3Al\,Si^2 + Ca\,Si^3 + 6Aq$

Hydrolite $4Al\,Si^2 + (Na, Ca)\,Si^3 + 8Aq$
Harmotome Al, Ba, Si, Aq
Gismondine $(Ca, K)^2\,Al^6\,Si^9\,Aq^6$
Hypostilbite $3Al\,Si^3 + Ca\,Si + 6Aq$
Sphérostilbite $3Al\,Si^3 + Ca\,Si^2 + 6Aq$
- Stilbite $3Al\,Si^3 + Ca\,Si^3 + 6Aq$
- Epistilbite $3Al\,Si^3 + Ca\,Si^3 + 5Aq$

Heulandite $4Al\,Si^3 + Ca\,Si^3 + 6Aq$
Brewstérite $4Al\,Si^3 + Ca\,Si^3 + 8Aq$

Silicoalumineux.

Carpholite $3Al\,Si + mn\,Si + 2Aq$
Ripidolite $6Al\,Si + 3(Ma, fe)^2\,Si + Aq$
Pimelite $Al\,Si^2 + 2Ni\,Si^3 + 13Aq$
Hisingerite $Al\,Si^2 + 4fe\,Si + 4Aq$
Sidéroschisolite $Al\,Si^2 + 2fe\,Si^4 + 3Aq$

Chlorite hexagonale $6Al\,Si + 6Ma\,Si + Ma\,Aq^2$
Pennine $6Al\,Si^2 + 3Ma^2\,Si + 2Ma\,Aq$
Terres vertes alumineuses, chlorites diverses. $Al, fe, Ma, Ca, K, Ne, Si, Aq$

Alumino-Silicates.

Chamoisite $2fe\,Si + fe^2\,Al + 4Aq$
Berthiérine $2fe\,Si + fe^3\,Al + Aq$
Pagodite $(Al, Si), (K, Al), Aq$
Margarite $Al\,Si^5 + Ca\,Al^4$
Saphirine $Al\,Si + (Ma, Ca, f)\,Al^3$

Silicates fluorifères.	Mica à 1 axe, Mica à 2 axes	Magnésien	*Al, Fe, Ma, K, Si,* Fl
		Potassique	*Al, Fe, K, Si,* Fl
		Lithique	*Al, Fe, K, L, Si,* Fl
Silicate chlorifère.	Sodalite		*Al, Na, Si,* Ch
Silicates borifères.	Tourmaline	Lithique	*Al, L, K, Ca, Ma, Si, B*
		Potassique	*Al, K, Ca, Ma, Si, Bo*
		Sodique	*Al, Na, K, Ca, Ma, Si, B*
	Axinite		*Al, Na, Ca, mn, Si, B*

Silicates

Simples.

Anhydres.		*Hydrates.*	
Phénakite	*Gl Si*		
Zircon	*Z Si*		
Gadolinite	*Y Si*		
		Cérérite	*ce Si* + *Aq*
Peridot	*Ma Si, fe Si*	Marmolite	*Ma Si* + *Aq*
		Némalite	*Ma Si* + 2*Ma Aq*
Willelmine	*Zn Si*	Calamine	*Zn Si* + *x Aq*
		Opsimose	*mn Si* + *Aq*
Wollastonite	$Ca\ Si^2$		
Rhodonite	$mn\ Si^2$	Sans nom	$2mn\ Si^2$ + *Aq*
		Dioptase	$Cu\ Si^2$ + *Aq*
		Chrysocole	$Cu\ Si^2$ + 2*Aq*
			$Cu\ Si^2$ + 4*Aq*
Talc	$Ma\ Si^3$	Stéatite	$2Ma\ Si^3$ + *Aq*
		Magnésite	$Ma\ Si^3$ + *Aq*
Edelforse	$Ca\ Si^3$		
		Chloropale	$fe\ Si^3$ + 2*Aq*
Kieselmangan	$mn\ Si^3$		
Photizite	$mn\ Si^6$	Sans nom	$mn\ Si^6$ + 2*Aq*

Silicate phosphorifère.	Sordawalite	*Al, Fe, Ma, Si, Ph*
Silicates sulfurifères.	Helvine.	*Al, Na, Si,* Mn Su?
	Outremer	*Al, Na, Si,* A Su?
	Hauyne	*Al, Na, K, Si,* $\dot{A}$ Su?
	Spinellane	*Al, Na, Si,* $\dot{A}$ Su?

ineux.

Doubles, anhydres ou hydratés.

Hydratifères.

	Eudyalite	$Z\,Si^3 + 3\,(Na, Ca, fSi^2$
	Thorite	$3ThSi + (Ca, fe, mn)Si + 4Aq$
	Knebellite	$fe\,Si + mn\,Si$
	Terre verte de Paris	$Ma\,Si + 2fe\,Si^2 + 2Aq$
erpentine	$2Ma\,Si^2 + Ma\,Aq$	
iallage	$4Ma\,Si^2 + Ma\,Aq^2$	Bronzite $2MaSi^2 + (fe, Ca)\,Si^2$
	$4Ma\,Si^2 + Ma\,Aq^4$	Baïkalite $2MaSi + Ca\,Si^2$
Pyroxène.		Diopside $Ca\,Si^2 + Ma\,Si^2$
		Hedenbergite $Ca\,Si^2 + fe\,Si^2$
		Pyrodmalite $fe\,Si^2 + mn\,Si^2$
		Bustamite $Ca\,Si^2 + 2mn\,Si^2$
		Hypersthène $(Ma, fe\ldots)\,Si^2$
iallage	$Ma\,Si^3 + Ma\,Aq$	Bronzite $4MaSi^3 + fe\,Si$?
ikrolite	$Ma\,Si^3 + Ma\,Aq^2$	
icrosmine	$3Ma\,Si^3 + Ma\,Aq^2$	
yrallolite	$Ma\,Si^3 + Ma\,Aq^3$	
Amphibole.		Trémolite $Ca\,Si^3 + 3Ma\,Si^2$
		Actinote $Ca\,Si^3 + 3fe\,Si^2$,
		Anthophyllite $fe\,Si^3 + 3Ma\,Si^2$
		Apophyllite $8CaSi^3 + K\,Si^6 + 16Aq$

Silicates fluorifères.	Mica à 1 axe,	Magnésien	*Al, Fe, Ma, K, Si,* Fl
	Mica à 2 axes	Potassique	*Al, Fe, K, Si,* Fl
		Lithique	*Al, Fe, K, L, Si,* Fl
Silicate chlorifère.	Sodalite		*Al, Na, Si,* Ch
Silicates borifères.	Tourmaline	Lithique	*Al, L, K, Ca, Ma, Si, B*
		Potassique	*Al, K, Ca, Ma, Si, B*
		Sodique	*Al, Na, K, Ca, Ma, Si, B*
	Axinite		*Al. Na, Ca, mn, Si, B*

Silicates

Simples.

Anhydres.		*Hydrates.*	
Phénakite	*Gl Si*		
Zircon	*Z Si*		
Gadolinite	*Y Si*		
		Cérérite	*ce Si + Aq*
Peridot	*Ma Si, fe Si*	Marmolite	*Ma Si + Aq*
		Némalite	*Ma Si + 2Ma Aq*
Willelmine	*Zn Si*	Calamine	*Zn Si + x Aq*
		Opsimose	*mn Si + Aq*
Wollastonite	*Ca Si²*		
Rhodonite	*mn Si²*	Sans nom	*2mn Si² + Aq*
		Dioptase	*Cu Si² + Aq*
		Chrysocole	*Cu Si² + 2Aq*
			Cu Si² + 4Aq
Talc	*Ma Si³*	Stéatite	*2Ma Si³ + Aq*
		Magnésite	*Ma Si³ + Aq*
Edelforse	*Ca Si³*		
		Chloropale	*fe Si³ + 2Aq*
Kieselmangan	*mn Si³*		
Photizite	*mn Si⁶*	Sans nom	*mn Si⁶ + 2Aq*

Silicate phosphorifère.	Sordawalite	*Al, Fe, Ma, Si, Ph*
Silicates sulfurifères.	Helvine.	*Al, Na, Si,* Mn Su?
	Outremer	*Al. Na, Si,* A Su?
	Hauyne	*Al, Na, K, Si,* A Su?
	Spinellane	*Al, Na, Si,* A Su?

alumineux

Doubles, anhydres ou hydratés

Hydratifères.			
		Eudyalite	*Z Si³ + 3 (Na, Ca, fSi²*
		Thorite	*3 Th Si + (Ca, fe, mn) Si + 4 Aq*
		Knebellite	*fe Si + mn Si*
		Terre verte de Paris	*Ma Si + 2fe Si² + 2 Aq*
Serpentine	*2Ma Si² + Ma Aq*		
Diallage	*4Ma Si² + Ma Aq²*	Bronzite	*2MaSi² + (fe, Ca) Si²*
	4Ma Si² + Ma Aq⁴	Baïkalite	*2MaSi + Ca Si²*
		Pyroxène. Diopside	*Ca Si² + Ma Si²*
		Hedenbergite	*Ca Si² + fe Si²*
		Pyrodmalite	*fe Si² + mn Si²*
		Bustamite	*Ca Si² + 2mn Si²*
		Hypersthène	*(Ma, fe...) Si²*
Diallage	*Ma Si³ + Ma Aq*	Bronzite	*4MaSi³ + fe Si ?*
Pikrolite	*Ma Si³ + Ma Aq²*		
Picrosmine	*3Ma Si³ + Ma Aq²*		
Pyrallolite	*Ma Si³ + Ma Aq³*		
		Amphibole. Trémolite	*Ca Si³ + 3Ma Si²*
		Actinote	*Ca Si³ + 3fe Si²,*
		Anthophyllite	*fe Si³ + 3Ma Si²*
		Apophyllite	*8Ca Si³ + K Si⁶ + 16 Aq*

DESCRIPTION DES MINÉRAUX

LES PLUS UTILES A CONNAITRE.

DE QUELQUES MÉTAUX NATIFS.

§ 148. Peu de corps simples se trouvent à l'état natif dans la nature § 118; mais parmi eux il en est quelques uns qui, pour ainsi dire, ne se rencontrent jamais autrement : tels sont surtout le *platine* et l'*or*, dont l'histoire présente d'ailleurs un intérêt général.

Platine.

§ 149. **Caractères.** — Le platine est un métal malléable, dont la couleur, à l'état de pureté, se trouve entre le blanc d'argent et le gris de plomb. C'est le plus lourd de tous les corps connus, son poids spécifique allant jusqu'à 22,069 lorsqu'il a été travaillé; mais c'est aussi le plus inaltérable, complétement infusible au feu le plus violent de nos fourneaux, inattaquable par la plupart des agents chimiques, et ne pouvant être dissous que par l'eau régale.

État naturel et gisement. — Le platine n'a pas été vu jusqu'ici dans des gisements qu'on puisse positivement regarder comme originaires; on en a trouvé seulement des indices dans des filons aurifères qui traversent des roches de fusion, comme à Antioquia en Colombie, ou dans des schistes micacés qui passent au grès par leur partie supérieure, comme dans la province de Minas-Geraës au Brésil, dans les montagnes d'Itacolumi; enfin en petits feuillets dans des fragments de quarz détachés des roches anciennes comme à Borneo. Son gîte spécial actuel est dans des dépôts fragmentaires ou arénacés qui se lient plus ou moins intimement à des terrains de cristallisation dioritiques ou serpentineux (1), des débris desquels

(1) On distingue en général deux sortes de terrains : *les terrains de cristallisation*, qui comprennent les matières de fusions et les dépôts modifiés par leur présence, et *les terrains de sédiment* (voyez *Géologie*). Les premiers n'offrent généralement ni cailloux roulés ni débris organiques, et les matières qu'ils présentent ont presque toujours un caractère cristallin : tout concourt à démontrer qu'ils ont été produits par le feu, ou du moins modifiés profondément par cet agent. Le

ils sont formés; il s'y trouve disséminé, en paillettes, en grains, rarement en rognons ou pépites d'un certain volume, dans les matières terreuses ou sableuses qui réunissent tous ses fragments. Il y est accompagné d'or au même état, et de diamants.

Ce métal a été découvert dans l'Amérique méridionale en 1741; il s'y trouve en grande quantité au Brésil, dans les provinces de Minas-Geraës et de Matto-Grosso, et en Colombie dans les provinces de Choco et de Barbacoas. Il existe aussi dans les dépôts aurifères et diamantifères de Bornéo, qui consistent en matière argileuse remplie de fragments de quarz, et liées à des roches de serpentine, d'euphotide et de diorite. On l'a trouvé en 1824 sur la pente orientale des monts Ourals, dans des circonstances tout-à-fait analogues à celles que nous venons de citer.

On extrait le platine des matières terreuses et sableuses dans lesquelles il se trouve, par des lavages qui enlèvent les parties les plus légères. On soumet le résidu à l'amalgamation pour retirer l'or, et le reste forme ce qu'on nomme le *minerai de platine*, qui se présente au Brésil en petites paillettes, d'un éclat argentin, et en Sibérie en gros grains irréguliers, souvent comme scoriacés, d'un gris noirâtre et peu éclatants. Le métal y est mélangé, ou allié, avec diverses matières, et notamment avec les métaux nommés *palladium*, *rhodium*, *iridium*, et une substance métalloïde, l'*osmium*.

Le palladium est quelquefois en grains isolés avec le platine; c'est un métal blanc, malléable, infusible, mais attaquable par l'acide nitrique, qui en forme une solution rouge.

Le rhodium est allié au platine; mais inattaquable même par l'eau régale, il reste sous forme de poussière grise après l'action de

---

seconds, formés évidemment sous les eaux, présentent au contraire des cailloux et des sables roulés, et un grand nombre de débris organiques : on y distingue plusieurs étages bien caractérisés par diverses circonstances.

Les diverses matières minérales forment dans ces terrains des couches, des amas et des filons, ou bien s'y trouvent disséminées.

Une *couche* est un dépôt, horizontal ou incliné, qui présente deux faces parallèles, et qui peut s'étendre indéfiniment, n'étant borné que par les escarpements des montagnes.

Un *amas* est un dépôt limité en tout sens par les matières environnantes, soit sous trois dimensions à peu près égales, soit étendu sous la forme lenticulaire entre deux couches. Les rognons (§ 62, 64) sont des amas en petit.

Un *filon* est un dépôt en forme de coin, quelquefois ramifié, qui donne toujours l'idée d'une fente remplie, et qui traverse obliquement les couches, les amas, les montagnes, et présente tantôt une seule matière, tantôt une réunion de matières diverses, pierreuses ou métallifères. Les très petits filons prennent le nom de *veines*, mais les veines ne sont pas toujours des fentes remplies.

cet agent. Cette poussière peut être agglomérée en masse métallique très cassante.

L'iridium est combiné avec l'osmium sous la forme de petits grains métalliques, ou de lames hexagones, plus éclatants que les grains de platine, et que dès lors on en distingue assez facilement. La combinaison est inattaquable par tous les acides. L'iridium pur est dans le même cas, et ne s'obtient qu'en agrégeant la poussière, qui forme alors une masse grisâtre extrêmement aigre.

Préparation. — Par suite de l'infusibilité du platine et de l'inaltérabilité des matières mélangées, ce métal ne peut être préparé comme les autres. On attaque la mine de platine par l'eau régale, et on précipite par l'hydrochlorate d'ammoniaque. Ce précipité calciné produit ce qu'on nomme le *platine en éponge :* on broie cette matière, on la réduit en poudre fine qui puisse former une boue avec l'eau, et on place cette boue dans un moule, où on la comprime graduellement, jusqu'à en rapprocher enfin les particules autant qu'il est possible. Cette première opération donne un gâteau assez solide, que l'on chauffe fortement, et qu'on martelle rapidement sur une enclume pour en rapprocher de nouveau les parties. Après cette opération, la masse peut être forgée comme le fer, puis laminée, étirée en fil, etc.

Usages. — Le minerai de platine, qu'on rejetait autrefois comme matière inutile, dont on redoutait même l'introduction, dans la crainte qu'on ne s'en servît pour falsifier l'or, est aujourd'hui exploité avec soin, et par cela même est devenu moins coûteux ; mais la longueur et la difficulté des opérations auxquelles il faut le soumettre rendent encore ce métal assez cher. Cependant son inaltérabilité le rendant très propre à une foule d'usages, on l'emploie dans beaucoup de circonstances : on en fait des chaudières, des alambics, fort utiles dans les fabriques de produits chimiques ; des creusets, des tubes et des capsules pour les laboratoires. On a essayé de l'employer en bijouterie ; mais son poids, son peu d'éclat, sa couleur peu avantageuse, l'ont fait à peu près abandonner. On en fait en Russie des pièces de monnaie. On l'applique sur porcelaine, surtout en couverte totale, qui donne alors l'apparence de l'argenterie.

Faisons observer que l'inaltérabilité du platine n'est pas absolue : la potasse et la soude, les nitrates de ces bases, altèrent ce métal à la chaleur rouge ; le plomb fondu et beaucoup d'autres métaux, le phosphore, ne peuvent être introduits dans les vases de platine, qu'ils perforent en quelques instants.

Or.

§ 150. **Caractères.** — Tout le monde a vu l'or, ne fût-ce que sur les cadres dorés, et connaît la belle couleur jaune qui distingue ce métal de tous les autres. Il est de plus très lourd, et son poids spécifique va jusqu'à 19,36. Son inaltérabilité est aussi remarquable que celle du platine; car il résiste de même à presque tous les agents, et n'est attaqué que par l'eau régale; mais il est fusible. Ce métal est extrêmement ductile, ce qui permet de le réduire en feuilles excessivement minces, qu'on emploie pour la dorure à froid.

État naturel. — L'or se présente quelquefois en petits cristaux cubiques ou octaèdres diversement modifiés, souvent groupés sous formes dendritiques; on le trouve quelquefois en lames minces plus ou moins étendues à la surface de diverses matières; ou en filaments qui pénètrent dans leur intérieur. Du reste, il est souvent en paillettes et quelquefois en pépites plus ou moins volumineuses. Fréquemment il est allié avec une certaine quantité d'argent qui varie, depuis 0,14 jusqu'à 72 pour cent.

Gisement. — Ce métal se trouve rarement dans des gîtes spéciaux, où il est en cristaux, en lames, en filaments, dans des filons de quarz; le plus souvent il est disséminé dans d'autres gîtes métallifères, principalement dans les minerais d'argent ou dans les matières terreuses qui les accompagnent. En Europe, ces minerais aurifères sont peu riches, et les plus renommés sont ceux de Hongrie et de Transylvanie, qui aujourd'hui couvrent à peine les frais d'exploitation. Au Mexique et au Pérou, ils sont au contraire très riches, et surtout répandus en quelque sorte avec profusion. Certains minerais de cuivre, certains gîtes de pyrites en renferment également, et ces derniers quelquefois en quantité assez notable pour fournir aux frais d'exploitation.

C'est surtout dans certains terrains de détritus ou d'alluvion proprement dits, que ce métal se trouve en quantité considérable, comme en Colombie, au Brésil, au Chili, et sur la pente occidentale des monts Ourals. Ce sont ici les mêmes dépôts qui renferment le platine et le diamant, et ce sont eux qui fournissent, vu la facilité de l'exploitation, la plus grande partie de l'or qui entre annuellement dans la circulation. Dans un grand nombre de lieux il existe des sables aurifères, et c'est du milieu d'eux que les ruisseaux arrachent quelques paillettes d'or qu'ils roulent dans différentes contrées et qu'ils isolent par un lavage continuel. En France,

l'Ariége est une des rivières les plus renommées sous ce rapport, qui autrefois a pu donner à vivre à quelques *orpailleurs*, gagnant par leurs recherches une vingtaine de sous par jour. Le Pactole avait une grande réputation chez les anciens. Il paraît que dans l'intérieur de l'Afrique il y a également des sables et des ruisseaux aurifères, ce dont on juge du moins par le commerce de poudre d'or qui s'y fait journellement. Quelques parties de l'Asie australe paraissent aussi être fort riches en or, mais on a peu de renseignements sur les gisements et les lieux d'exploitation.

L'Amérique équatoriale est en quelque sorte le pays de l'or, ou plus généralement des métaux précieux : sur une valeur de 113 millions de francs que produisent annuellement 33,000 kilogrammes d'or extraits sur tous les points de la terre suffisamment connue, elle en donne environ 63. L'Amérique septentrionale en produit à peu près 8; l'Asie australe 17, dont l'île de Bornéo fournit une grande partie; la Sibérie 8, l'Afrique 13. En Europe, la Hongrie et la Transylvanie en donnent tout au plus 4, et le reste produit à peine une centaine de mille francs. Heureusement le prestige de l'or est ici dissipé par les autres produits ; le fer fournit, à lui seul, un produit annuel de plus de 600 millions, et les humbles combustibles charbonneux près de 300.

Usages. — Outre son usage comme monnaie, l'or est employé dans la bijouterie, et surtout pour la dorure, dans une multitude de cas. On l'applique sur tous les corps par différents moyens : d'un côté, par l'intermédiaire du mercure, avec lequel on l'amalgame, qu'on étend ensuite sur la pièce et qu'on soumet à la chaleur pour chasser le métal volatil : c'est la dorure à l'*or moulu*. D'un autre côté, on dore aujourd'hui par la méthode galvanoplastique, dans laquelle on fait à froid précipiter l'or dissous sur les pièces qu'on en veut couvrir. On emploie aussi des poudres provenant de précipités, qu'on fait fondre sur la couverte des poteries ; et enfin, des feuilles excessivement minces qu'on colle à la surface des corps. On se sert de quelques préparations d'or en médecine.

Argent.

§ 151. Métal blanc, ductile, fusible, dont le poids spécifique est 10,47, ce qui le distingue immédiatement de l'étain, avec lequel il a quelques rapports, et qui pèse un tiers de moins. Il n'est nullement attaquable par les acides végétaux, ce qui le rend très précieux pour les usages de la vie; il est très peu oxydable, et conserve en conséquence son brillant à l'air ; l'hydrogène sulfuré le

ternit et le noircit, et c'est pour cela que les œufs noircissent l'argenterie dont nous nous servons habituellement.

L'argent se présente naturellement en petits cristaux octaèdres ou cubiques, presque toujours groupés sous formes dendritiques; souvent il est en filaments, qui sont quelquefois très minces, et fréquemment entremêlés ou comme feutrés.

A l'état métallique, l'argent se trouve à peu près dans tous les gîtes de sulfure d'argent, où quelquefois on le rencontre en masses considérables : il est surtout très abondant dans certaines matières argilo-ferrugineuses, qu'on nomme *pacos* au Pérou et *colorados* au Mexique, où il se trouve avec du chlorure d'argent.

L'argent à l'état libre est extrait soigneusement partout où il se trouve; mais c'est surtout le sulfure en Europe, le sulfure et le chlorure au Mexique et au Pérou, qui fournissent la plus grande partie de ce métal : nous y reviendrons en parlant de ces corps. La quantité d'argent extraite annuellement du sein de la terre est d'environ 1 million de kilogrammes, dont la valeur est à peu près de 200 millions de francs; l'Amérique en fournit à elle seule les neuf dixièmes. On emploie ce métal pour les monnaies, pour les couverts, la vaisselle et beaucoup d'ornements. L'argenture se fait par les mêmes moyens que la dorure. On se sert en médecine du nitrate d'argent fondu, sous le nom de *pierre infernale*, pour cautériser certaines excroissances charnues, etc.

Mercure.

§ 152. Métal liquide à la température ordinaire ; blanc d'argent, volatil. Poids spécifique, 13,60 à 0°.

Il se trouve partie à l'état métallique, partie à l'état de sulfure, ou *cinabre*, qui constitue la masse principale des dépôts ; c'est surtout dans les parties moyennes des terrains de sédiment et près des dépôts de cristallisation qu'on le rencontre. Il est peu abondamment répandu, et les principaux gîtes sont ceux d'Idria près de Trieste, d'Almaden en Espagne, du Palatinat sur la rive gauche du Rhin, et de Huanca-Velica au Pérou.

L'exploitation annuelle est évaluée à 2 millions et demi de kilogrammes, dont l'Europe fournit au moins les neuf dixièmes, et dont la valeur est de 12 millions de francs. La plus grande partie est employée pour le traitement des matières aurifères et argentifères, car le mercure dissout facilement l'or et l'argent, et il suffit de le triturer avec les matières qui renferment ces précieux métaux pour en retirer la plus grande partie. C'est sur cette propriété

qu'est fondé ce qu'on nomme le *procédé d'amalgamation*. Une grande partie du mercure passe pour cela dans l'Amérique équatoriale.

L'étamage des glaces est un amalgame de mercure et d'étain; on sait qu'on emploie le mercure pour les baromètres et les thermomètres, qu'il y a dans tous les laboratoires une cuve à mercure pour récolter les gaz, et que quelques sels, quelques préparations mercuriels sont employés en médecine.

Cuivre.

§ 153. Métal de couleur rouge, d'une odeur désagréable, ductile, fusible, facilement attaquable par tous les corps, et se couvrant à l'air d'un enduit d'oxyde ou de carbonate vert, produisant facilement du vert-de-gris (sous-acétate de cuivre). Poids spécifique, 8,87, lorsqu'il est écroui.

Le cuivre se présente quelquefois en cristaux octaèdres et cubiques ou en prismes rectangulaires, § 48, le plus souvent groupés en dendrites, quelquefois en lames irrégulières, en filaments, en rognons, en petites veines dendritiques dans plusieurs matières: on en cite en masses isolées au milieu des sables et des rivières. C'est toujours en très petite quantité que ce métal se trouve à l'état natif, et ce sont les sulfures, simples ou doubles, qui sont exploités pour le préparer en grand. Il en entre annuellement environ 20 millions de kilogrammes dans le commerce, dont la valeur est à peu près de 76 millions de francs. Malheureusement la France est à peine pour 5 à 600 mille francs dans ce produit, et elle en tire annuellement pour 7 à 8 millions de l'étranger.

CLASSE DES SIDÉRIDES, MANGANIDES, etc.

§ 154. **Caractères du groupe.** — Nous avons ici un groupe de corps très naturels, qui sont tous isomorphes à l'état d'oxydes, et qui peuvent en conséquence se remplacer mutuellement dans les diverses combinaisons.

A l'état de simple oxyde, ils présentent tous trois atomes d'oxygène, et deux atomes de bases; un seul forme en outre un oxyde plus élevé $\dot{M}n$. Deux d'entre eux se trouvent nettement cristallisés, le *corindon* et l'*oligiste*, et non seulement ils se rapportent au même système, mais encore sont réellement identiques, l'un offrant un

rhomboèdre de 86° 10′ et 93° 50′, et l'autre de 86° 4′ et 93° 56′. L'*oxyde de chrome* donne par la fusion de petits rhomboèdres que nous n'avons pu mesurer. Quant à la *braunite*, sa forme est un octaèdre à base carrée.

Les *hydrates gœthite* et *acerdèse*, qui ont la même formule chimique, cristallisent dans le même système. Les *ferrates*, *manganates* et *chromites* désignés sous les noms d'*aimant*, *franklinite*, *hausmanite* et *sidérochrome*, qui ont la même formule, cristallisent en octaèdres réguliers, et ont souvent d'ailleurs tant d'analogie qu'il est presque impossible de les distinguer immédiatement à l'œil. Le sidérochrome est souvent même un mélange de chromite et d'aluminate de fer de la même formule.

Les analogies seraient encore plus évidentes et plus remarquables, si nous mettions en comparaison tous les produits de laboratoire qui se rapportent à cette division.

Parmi les corps que nous réunissons ici, il en est quelques uns qui méritent plus particulièrement notre attention. Ce sont le *corindon* et le *spinelle*, qui fournissent à la joaillerie le rubis oriental, le saphir et le rubis spinelle; le *fer*, l'*oligiste*, la *limonite* et l'*aimant*, dont le premier nous offre une origine remarquable, et dont les autres sont des minerais importants; enfin la *pyrolusite* et l'*acerdèse*, qui servent à la préparation du chlore.

1° Groupe des Aluminides.

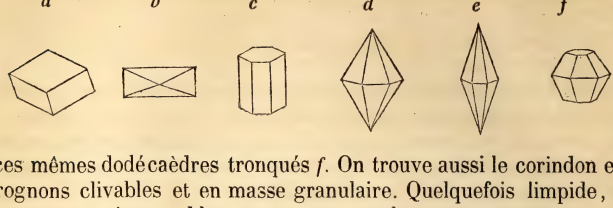
Ceux de ces corps qui donnent de l'eau par calcination peuvent être attaqués par les acides; ceux qui sont anhydres ont besoin avant tout d'être préalablement fondus avec la potasse ou la soude. La solution donne par l'ammoniaque un précipité abondant d'alumine, § 122, 7°.

Corindon.

§ 155. **Caractères.** — Substance anhydre, vitreuse ou pierreuse, cristallisable, et se clivant alors en rhomboèdre de 86° 4′ et 94° 56′. Poids spécifique, 4,28, dans la variété connue sous le nom de *rubis;* 3,99 ou 4, dans celles qu'on nomme *saphir* et *topaze orientale*, et descendant à 3,66 dans les variétés grossières. Elle est infusible au chalumeau; sa dureté, qui ne cède qu'à celle du diamant, est assez grande pour rayer tous les autres corps. Le corindon est essentiellement formé d'alumine, mais il est souvent mélangé de diverses matières étrangères.

Les cristaux que présente cette substance sont tantôt des rhomboèdres, simples ou tronqués plus ou moins profondément au

sommet, fig. *a* et *b* ; tantôt des prismes hexagones réguliers, *c*, des dodécaèdres à triangles isocèles plus ou moins aigus, *d*, *e*, ou enfin



ces mêmes dodécaèdres tronqués *f*. On trouve aussi le corindon en rognons clivables et en masse granulaire. Quelquefois limpide, il est souvent jaune, bleu ou rouge, et plus rarement vert.

Emplois. — Les variétés jaune, bleue et rouge, et surtout les deux dernières, sont recherchées pour la joaillerie, et désignées sous les noms de *topaze orientale*, *saphir* et *rubis ;* la variété verte, fort rare lorsqu'elle est d'une belle teinte, s'emploie aussi sous le nom d'*émeraude orientale*. Le rubis, d'une belle teinte de feu et bien pure, est une superbe pierre dont la valeur dépasse celle du diamant ; le saphir bleu-barbeau ou bleu-indigo est le plus estimé, et aussi d'une grande valeur. Les variétés grossières sont recherchées pour les réduire en poudre plus ou moins fine, qu'on nomme *émeri*, et qui sert à tailler et polir les corps durs ; mais on donne souvent ce nom dans le commerce à des matières tout-à-fait différentes.

Gisement. — Cette substance appartient aux terrains de cristallisation ; elle s'y trouve disséminée et particulièrement dans le granite (1). Cependant elle existe aussi dans ce qu'on nomme les basaltes (2) et dans la dolomie. On la trouve souvent hors de place, en cristaux isolés, dans les sables qui proviennent de la destruction des roches, et qui sont entraînés par les ruisseaux.

C'est dans l'Asie méridionale (Malabar, Tibet et Chine) que le corindon se trouve en plus grande quantité, et c'est de ces contrées qu'il nous arrive en pierres toutes taillées ; mais il existe aussi dans

---

(1) Les *granites* sont des roches composées de trois substances, *mica*, *feldspath*, *quarz* (voyez les silicates), réunies en parties à peu près égales et constituant un tout à structure granulaire. Quand ces substances sont réunies par feuillets entremêlés, la roche prend le nom de *gneiss*. Quand il n'y a que du *quarz* et du *mica*, la roche schisteuse prend le nom de *schiste micacé*. Quand le quarz disparaît aussi, on donne souvent à la roche le nom de *schiste argileux*, composé de petites lamelles empilées, et passant à l'argile schisteuse.

(2) Les basaltes sont des matières pierreuses plus ou moins compactes, noires ou grises, qui forment des buttes isolées, des plateaux souvent très étendus, quelquefois des coulées qui se rattachent à des cônes volcaniques. Ils sont souvent accompagnés de scories plus ou moins abondantes. (Voyez la *Géologie*.)

les granites des Alpes, et surtout dans les dolomies du Saint-Gothard, dans le ruisseau d'Expailly, près du Puy en Velay, où il provient des dépôts volcaniques de la contrée, etc.

Spinelle, gahnite, pléonaste, cymophane.

§ 156. Les trois premiers de ces aluminates anhydres, à base de magnésie, de zinc et de fer, se trouvent cristallisés en octaèdre régulier avec ses diverses modifications. Ce sont encore des matières vitreuses, infusibles, très dures, qui raient toutes les autres et ne sont rayées que par le corindon. Elles appartiennent aussi aux terrains de cristallisation, y sont disséminées comme le corindon, et se trouvent, comme lui, dans les sables des ruisseaux.

Le *spinelle*, lorsqu'il est d'un beau rouge, est aussi employé dans la joaillerie, et connu sous le nom de rubis spinelle; les teintes rosâtre, lie de vin, etc., sont beaucoup moins estimées et prennent le nom de rubis balais; les variétés bleues sont quelquefois assez agréables et vont de pair avec les saphirs pâles. C'est aussi de l'Inde que ces spinelles nous arrivent tout taillés.

La *ganhnite*, ou aluminate de zinc, est verdâtre ou grisâtre, généralement opaque, disséminée dans des matières talqueuses. On ne la connaît encore qu'en Suède, ou près de la ville de Franklin, dans l'Amérique septentrionale.

Le *pléonaste* est une matière noire qu'on trouve dans les dolomies qui font partie des débris dont le Monte-Somma, base du Vésuve, est entouré, ou qui existent en Tyrol, entremêlés dans les terrains de cristallisation. On le trouve également dans les détritus basaltiques et trachytiques.

Le *cymophane* offre aussi une pierre très recherchée dans la joaillerie, qui est susceptible d'un beau poli, et qui produit un fort bel effet lorsqu'elle est taillée à facettes. On le connaît dans le commerce de pierreries sous le nom de *chrysolite orientale* et de *topaze orientale*, et on le confond souvent avec le corindon jaune qui porte les mêmes noms.

Le cymophane est une pierre jaune ou d'un vert jaunâtre, rayant le quarz, mais rayée par le spinelle, infusible au chalumeau. On le trouve cristallisé en prismes rectangulaires, souvent modifiés sur les arêtes et les angles, et offrant surtout des prismes hexagones qu'on a quelquefois pris pour des corindons jaunes. Ailleurs il est en petite masse informe. M. Awdejew fait voir que c'est un aluminate de glucine, quelquefois pur et quelquefois mélangé de silice. Cette substance se trouve disséminée dans les pegmatites de

l'Amérique septentrionale, ou en cristaux roulés dans les sables du Brésil et de Ceylan.

2° Groupe des Sidérides.

Corps attaquables par l'acide azotique, soit avant, soit après avoir été calcinés avec la poussière de charbon. Solution précipitant abondamment en bleu par le cyanure ferroso-potassique.

Fer natif.

§ 157. **Dans les pierres météoriques.** — Le fer à l'état métallique se présente en grains isolés dans les pierres qui tombent parfois de l'atmosphère, ou en masses erratiques, dont quelques unes sont tombées à la vue d'un grand nombre de personnes, et dont les autres, d'après tous leurs caractères, ont eu très probablement la même origine.

La chute des pierres de l'atmosphère est un fait connu de toute antiquité, mais qu'on a relégué parmi les contes populaires, jusqu'à la chute des pierres qui eut lieu à Sienne, en Toscane, le 16 juin 1794; à celle qui eut lieu à Wold-Cottage, dans le Yorkshire, le 13 décembre 1795; à celle de Bénarès, dans l'Inde, le 19 novembre 1798. Plusieurs savants acceptèrent alors le fait, surtout en Angleterre; mais on conserva des doutes en France, jusqu'à la chute des pierres de l'Aigle, le 26 avril 1803. Celle-ci fut constatée de telle manière, qu'il ne fut plus possible de nier, et on crut enfin aux faits nombreux qu'on avait jusqu'alors rejetés, malgré les détails les plus circonstanciés et les témoignages les plus authentiques.

Ces pierres météoriques sont des masses arrondies plus ou moins volumineuses, couvertes d'une écorce noire, quelquefois brillante et vitreuse. L'intérieur est une matière grise, composée de diverses substances terreuses ou métalliques, dont quelques unes sont cristallisées et les autres en globules ou en petites veines. Le fer s'y trouve toujours allié avec du nickel et du chrome.

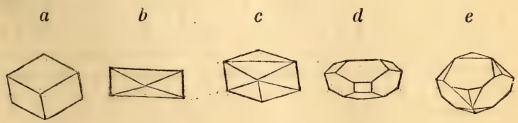
En blocs erratiques. — La chute de certains blocs de fer n'est pas moins constatée que celle des pierres. Il est certain qu'il en tomba un à Hrasina, près d'Agram, en Croatie, le 26 mai 1751; un autre à Lahore, dans l'Indoustan, le 17 avril 1621; un troisième dans la forêt de Naundorf, en Misnie, etc. La matière en est cristalline et caverneuse; elle renferme du nickel et du chrome à l'état d'alliage, comme le fer qui se trouve dans les pierres météo-

riques. Or il existe aussi çà et là des masses de fer plus ou moins considérables, reposant sur toute espèce de dépôts, même sur la terre végétale, également caverneuses, renfermant du nickel et du chrome, qu'on ne trouve dans aucun fer de fabrication, et il devient infiniment probable qu'elles sont tombées de l'atmosphère, comme les précédentes. La plus renommée est celle qui se trouve près de la ville de Jenisseik, en Sibérie, où elle a été examinée par Pallas, et qu'on nomme à cause de cela fer de Pallas : elle est évaluée à 700 kilogrammes. Il y en a de bien plus considérables : par exemple, une de 14 000 kilogrammes à Olumpa, près de Saint-Yago, dans le Tucuman; une de 19 000 kilogrammes aux environs de Durango, au Mexique; enfin sur les bords du Sénégal on en cite une d'un volume énorme, qu'on regarde comme la plus considérables de toutes.

Dans d'autres gisements et dans les houillères embrasées. — On a cité de petites quantités de fer natif dans diverses matières, dans du quarz, dans du peroxyde de fer, dans du carbonate de ce métal, et dans certains produits volcaniques; mais il n'y a rien là de bien positif. Il s'en est trouvé qui est plus ou moins aciéré dans les produits des houillères embrasées, par exemple, à Labouiche, près de Néris, en Auvergne.

Oligiste. — *Fer spéculaire, peroxyde de fer.*

§ 160. **Caractères.** — Substance douée de l'éclat métallique, et gris de fer, à l'état de cristaux; rouge plus ou moins foncé à tout autre état, et dans tous les cas à poussière rouge; cristallisant en rhomboèdre de 86° 10′ et 93° 50′; infusible au chalumeau au feu d'oxydation, fondant au feu de réduction, et donnant alors un globule noir magnétique; renfermant 69 pour 100 de fer lorsqu'elle est pure.



Les cristaux sont le plus souvent des rhomboèdres, qui sont tantôt simples, fig. *a*, et tantôt tronqués profondément au sommet, fig. *b*, même jusqu'à se réduire à des lames minces, ou enfin terminées par des rhomboèdres plus obtus, et modifiés sur les angles latéraux, fig. *c*, *d*, *e*. On trouve aussi des prismes hexagones, ordi-

nairement très courts, des dodécaèdres tronqués au sommet, et parfois modifiés sur trois arêtes alternes, etc.

Les grandes masses douées de l'éclat métallique sont laminaires, lamellaires, granulaires, quelquefois schisteuses, à feuillets plus ou moins épais, composés de petites écailles, et ressemblant à l'ardoise; ailleurs elles sont formées de petites écailles entremêlées, et souvent elles sont tout-à-fait compactes.

Les variétés non métalloïdes sont quelquefois modelées sur du carbonate de chaux, dont elles conservent les formes d'une manière plus ou moins nette; ailleurs elles sont stalactitiques à structure fibreuse, et prennent souvent alors le nom d'*hématite rouge;* enfin elles sont en masses compactes ou terreuses.

Gisement. — L'oligiste constitue des dépôts plus ou moins considérables dans les terrains de cristallisation, où il présente le plus souvent l'éclat métallique, et dans les dépôts de sédiment inférieurs ou moyens, où il est presque toujours lithoïde ou terreux. Dans les premiers, il forme quelquefois des montagnes entières, comme à Gellivara en Laponie, des amas ou des filons puissants; quelquefois il remplace le mica dans les schistes micacés, sur des étendues considérables, comme à la montagne d'Itacolumi au Brésil, et dans quelques points de la Bretagne. Dans les dépôts de sédiment, il se trouve particulièrement dans les parties qui avoisinent les terrains de cristallisation (1).

(1) Pour fixer les idées, citons quelques divisions des terrains de sédiment.

Les parties les plus basses, composées de matières schisteuses, de calcaires et de roches arénacées particulières, forment ce qu'on nomme les *dépôts cambriens*, *siluriens* et *devoniens;* ils sont caractérisés par des débris d'animaux dont les genres et les espèces sont perdus. Au-dessus viennent les *dépôts carbonifères*, caractérisés par l'abondance de la houille, par des matières arénacées qu'on nomme particulièrement *grès houiller*, et différents dépôts calcaires. Plus haut se présentent diverses alternances de grès et de calcaire, *grès rouge*, *calcaire pénéen*, *grès bigarré*, *calcaire conchylien*, *marnes irisées*, jusqu'aux grands dépôts qu'on a désignés sous le nom de *formation jurassique*. Celle-ci présente à sa base le calcaire nommé *lias*, au-dessus duquel se trouvent des alternances nombreuses de calcaire compacte et oolitique; elle se termine à des dépôts particuliers de calcaire et d'argile qui préludent à la *craie*. C'est dans les bassins limités par la craie que se sont formés les *calcaires parisiens*, base des terrains tertiaires, qui sont recouverts par diverses formations, les unes marines, les autres fluviatiles.

Chacune de ces divisions peut se trouver plus ou moins rapprochée des terrains

On trouve ce minéral en petites parties dans les granites des Alpes, dans les fissures des trachytes (1) et des laves (2), dans les cratères de quelques volcans anciens ou modernes ; il est alors à l'état métalloïde. Il existe à l'état terreux dans un grand nombre de lieux, où presque toujours il est mélangé de substances alumineuses; c'est alors qu'il forme ce qu'on appelle les *ocres rouges*.

Usages. — L'oligiste est un des minerais de fer les plus importants, celui qui donne, en général, les fers les plus purs. Il forme une source de richesses considérables et inépuisables pour la Suède, où il existe en abondance, et surtout à l'état métalloïde. En Toscane, il faut citer les mines de l'île d'Elbe, d'où proviennent la plupart des beaux échantillons cristallisés qu'on trouve dans les collections ; en France nous avons les mines de la Voulte, dans l'Ardèche, qui nous offrent des minerais lithoïdes et terreux, et celles de Framont, dans les Vosges, qui renferment beaucoup de parties métalloïdes au milieu des minerais compactes ; il en existe aussi dans les Pyrénées.

Les variétés terreuses sont souvent employées pour les peintures grossières, sous le nom de *rouge de Prusse* et d'*ocre rouge ;* les plus argileuses forment les *crayons rouges* ou *sanguine*. Les variétés stalactiques, qu'on nomme hématites, sont recherchées pour faire des *brunissoirs*, au moyen desquels on donne le dernier brillant à l'argenterie et à quelques métaux.

Limonite. — *Fer hydraté, mine de fer en grains.*

§ 161. — Substance non métalloïde, brune ou jaune, à poussière jaune, donnant par calcination de l'eau et un résidu d'oxyde rouge, qui se conduit ensuite comme l'oligiste au feu de réduction.

La limonite est un hydrate renfermant 80 pour 100 de peroxyde de fer, et par conséquent 55 de métal. Elle présente quelquefois de *très petits cristaux* aciculaires en prismes rhomboïdaux, portant un grand nombre de modifications sur les arêtes et les angles. Souvent elle se trouve sous des *formes empruntées*, les unes offrant des

---

de cristallisation, et souvent se présente comme enclavée au milieu d'eux, en offrant alors des caractères et des circonstances dignes d'attention.

(1) Les *trachytes* sont des roches plus ou moins âpres, plus ou moins poreuses, scoriacées même dans quelques parties, qui se lient avec des roches vitreuses, ponceuses, etc.

(2) On nomme *laves* les matières pierreuses que les volcans émettent dans leurs paroxysmes, et qui à l'état de fusion pâteuse s'étendent, sous forme de courants, sur les flancs de la montagne en se portant quelquefois jusqu'à de grandes distances.

cubes et des octaèdres dus à la décomposition du sulfure de fer, des boules formées autrefois par ces cristaux, les autres présentant des rhomboèdres groupés qui proviennent de la décomposition du carbonate de fer, enfin des formes de carbonate de chaux dont elle recouvre ou remplace la matière; fréquemment elle est sous forme de coquilles et de madrépores.

Cette substance se trouve aussi en *stalactites* à structure fibreuse ou compacte, qui prennent le nom d'*hématite brune*. Souvent elle se présente en gros *rognons* creux à l'intérieur, et renfermant un noyau libre, qu'on nomme vulgairement *pierre d'Aigle*. Elle est très commune sous la *forme oolitique*, à globules tantôt libres, tantôt étroitement réunis entre eux; quelquefois elle est *schisteuse* à feuillets compactes séparés par des enduits micacés. Elle se présente aussi en masses compactes, tantôt pleines, tantôt caverneuses ou cloisonnées. Enfin on la trouve à l'état terreux, où elle est souvent mélangée de matière argileuse et quelquefois d'hydrate d'alumine de la même formule, $Al^3\ Aq$, qui lui donne beaucoup de douceur; elle constitue alors l'*ocre jaune*.

Gisement. — La limonite appartient tout entière aux terrains de sédiment; elle y forme des amas puissants qui commencent à se montrer dans les parties les plus anciennes et au voisinage des terrains de cristallisation; elle s'étend ensuite jusque dans les dépôts les plus modernes. Elle est extrêmement abondante vers le milieu de la série sédimentaire, où la variété oolitique forme d'un côté des couches puissantes, et de l'autre des amas qui ont rempli les cavernes et les fentes des dépôts jurassiques. On en trouve plus haut des couches de même espèce qui préludent à la craie, ainsi que des dépôts terreux plus ou moins mélangés; enfin il en existe de diverses variétés, à tous les étages des terrains tertiaires, et jusque dans les alluvions superficielles les plus modernes, où elle constitue la *mine de marais*.

Usages. — Cette espèce est encore un minerai précieux pour diverses contrées, et c'est elle, surtout à l'état oolitique, qui alimente la plupart des usines de la France, dans la Normandie, le Berry, la Bourgogne, la Lorraine, la Franche-Comté. On remarque en général que les couches intercalées dans les calcaires produisent des fers plus cassants que les dépôts formés dans les cavernes et les fentes du terrain, ou à la superficie du sol tertiaire. On attribue cette différence à la présence des phosphates provenant des débris organiques qui se trouvent dans les premières. Lorsqu'il reste plus d'un centième de phosphore dans le fer, ce métal n'est plus propre à aucun usage; mais, à très petite dose, il en résulte

une certaine dureté qui n'est pas sans avantage dans quelques cas.

Ces sortes de minerais, étant rarement purs, ont plus besoin que l'oligiste d'être partout bien connus de composition, pour pouvoir appliquer au traitement les doses convenables de fondants, qui consistent en chaux ou en silice, et dont l'objet est de former avec les matières étrangères des combinaisons fusibles qui s'écoulent en scories et laissent dégager le métal.

Les variétés terreuses, plus ou moins argileuses, sont exploitées pour la peinture, soit qu'on les emploie à l'état naturel, soit qu'on les ait préalablement lavées avec soin. La terre d'Italie, la terre d'Ombre, ne sont que des variétés mélangées d'hydrate de manganèse, qui donne à la masse un ton brunâtre; la terre de Sienne est aussi un ocre qui renferme un peu de peroxyde de fer sans eau, et qui prend alors une teinte rougeâtre, ce qu'on produit souvent par une simple calcination. On calcine l'ocre jaune pour produire l'ocre rouge en enlevant ainsi son eau.

Aimant. — *Fer oxydulé, fer oxydé magnétique.*

§ 162. **Caractères.** — Substance noire, douée de l'éclat métallique, à poussière noire; attirable au barreau aimanté et magnétique; fusible au chalumeau au feu de réduction, et n'éprouvant alors aucune altération.

Cette substance, comme l'indique le signe, est formée de peroxyde de fer combiné avec du protoxyde, environ 69 de l'un et 31 de l'autre, et offrant en tout 72 pour cent de métal; c'est par conséquent le minerai de fer le plus riche. Sa cristallisation, toute différente de celle de l'oligiste, se rapporte au système cubique; les cristaux sont le plus souvent des octaèdres simples ou modifiés, quelquefois des dodécaèdres rhomboïdaux.

En masse, cette matière est laminaire, lamellaire ou compacte, quelquefois terreuse.

Gisement et usages. — L'aimant appartient exclusivement aux terrains de cristallisation; souvent il est disséminé en cristaux dans diverses roches, et surtout dans les roches magnésiennes; mais il forme aussi dans diverses localités des dépôts immenses, tantôt en montagnes entières, comme à Taberg, en Smolande, tantôt en bancs épais qui se succèdent et se répètent plusieurs fois sur une hauteur considérable. C'est surtout en Suède et en Norwége qu'il est abondant, où il offre le plus excellent minerai, et le plus facile à traiter. Le fer qu'on en obtient est le plus pur que l'on connaisse, ce qui le fait rechercher dans toutes les parties de

l'Europe pour certains ouvrages auxquels il est le plus propre par sa douceur; c'est le seul qui produise de bon acier fondu. Mais on conçoit que par cette douceur même il soit impropre à tout ce qui exige un peu de roideur, et qu'on préfère alors les fers plus ou moins impurs de diverses localités.

Ce sont les variétés compactes de cette espèce, et surtout celles où l'on ne trouve plus l'éclat métallique, dans lesquelles il existe des mélanges soit de peroxyde de fer, soit d'hydrate de ce peroxyde, qui constituent ce qu'on nomme la *pierre d'aimant*, remplacée aujourd'hui pour les expériences par les aimants artificiels.

Observation. — Nous verrons plus tard d'autres espèces de minerais de fer qui ont aussi leur importance; savoir : d'une part le carbonate, de l'autre un alumino-silicate, qui forme de grands dépôts confondus jadis avec le minerai de fer en grains.

3° Groupe des Manganides.

Corps donnant tous plus ou moins de chlore par l'action de l'acide hydrochlorique. Donnant par la fusion avec la soude une fritte verte, soluble dans l'eau, qu'elle colore en vert, et dont il se précipite peu à peu de l'oxyde brun.

Pyrolusite. — *Peroxyde de manganèse.*

§ 163. **Caractères.** — Matière douée de l'éclat métallique, gris d'acier, et à poussière d'un noir décidé, qui la distingue de toutes les autres espèces; cristallisant en prismes rhomboïdaux obliques; infusible au chalumeau et devenant rouge-brun au feu de réduction; produisant une vive effervescence par la fusion avec le verre de borax, et donnant ensuite un verre violet-améthyste.

La pyrolusite, $\dot{M}n$, est celui des oxydes de manganèse qui renferme le plus d'oxygène, dont il perd 12 pour 100 par l'action de la chaleur rouge suffisamment prolongée, pour se transformer en oxyde rouge, désigné par les minéralogistes sous le nom d'hausmanite, et analogue par sa composition, $mn\ Mn^3$, au ferrate de fer que nous venons de décrire.

Cette substance se trouve assez souvent en cristaux prismatiques allongés, groupés en masses bacillaires ou fibreuses; elle se présente aussi sous forme mamelonnée, et constitue en grand des masses compactes, quelquefois caverneuses, dont les cavités sont remplies par la variété à l'état terreux.

Gisement. — Les gîtes de pyrolusite appartiennent aux terrains de cristallisation comme aux terrains de sédiment: ce sont des

amas plus ou moins considérables, qu'on exploite partout où ils se trouvent suffisamment à proximité des routes. Les localités les plus connues en France sont la Romanèche, près de Mâcon, les environs de Périgueux, Calvéron, dans le département de l'Aude, etc.

Usages. — La pyrolusite est une matière éminemment utile, dans les arts, pour la préparation du chlore et de l'eau de Javelle dans les fabriques de toiles peintes et les blanchisseries. On l'emploie dans les verreries pour purifier le verre blanc des teintes jaunes produites par le charbon, qui se trouve alors brûlé par l'oxygène que la chaleur dégage; mais si l'on dépasse la dose nécessaire, le verre prend une couleur violette, ce que l'on voit souvent dans les verreries communes. C'est le plus souvent en chauffant le peroxyde de manganèse dans une cornue qu'on prépare l'oxygène dans les laboratoires, lorsqu'il n'est pas nécessaire de se le procurer au plus grand état de pureté.

Pour ces divers usages, il faut, autant que possible, se procurer les minerais purs, non seulement exempts de matières étrangères dont ils sont souvent mélangés, mais encore de toutes les autres espèces manganiques distribuées dans le tableau; celles-ci renfermant beaucoup moins d'oxygène, diminuent d'autant l'action du minerai auquel elles sont associées. On a soin d'essayer ces matières pour fixer leur valeur commerciale, ce qui se fait en cherchant d'un côté combien une quantité donnée de minerai produit de chlore, et de l'autre, combien elle dépense d'acide hydrochlorique; on calcule par là le prix du litre de chlore pour chaque matière. Le peroxyde de manganèse pur ne doit consommer qu'une quantité d'acide hydrochlorique double de celle que produit le chlore obtenu; or, certains mélanges de pyrolusite avec l'acerdèse, les oxydes de fer, le calcaire, etc., en dépensent plus du quadruple, ce qui montre immédiatement la différence de prix que ces matières doivent avoir.

Acerdèse (ἀκέρδης, non profitable).

§ 164. **Caractères.** — Substance d'un éclat métallique lorsqu'elle est cristallisée, et mate dans le cas contraire; toujours à poussière brune, ce qui la distingue immédiatement de la précédente; donnant de l'eau par calcination, et faisant peu d'effervescence quand on la fond avec le borax.

On trouve quelquefois l'acerdèse en prismes rhomboïdaux droits, fréquemment groupés entre eux et composant des masses bacillaires ou fibreuses, quelquefois à fibres très fines peu agrégées.

Elle se trouve aussi en petites masses mamelonnées, en stalactites, ou en enduit plus ou moins épais sur les stalactites de limonite. Elle existe également en globules formés de couches concentriques, comme la limonite en grains, dont elle est alors plus ou moins mélangée. Quelques petits nids, ou certains enduits, sont composés d'écailles brillantes, métalloïdes, plus ou moins agrégées, et passent à des variétés terreuses. C'est cette matière qui produit les herborisations noires à la surface de certains calcaires.

La composition de cette espèce est fort différente de la première, car non seulement c'est un hydrate, mais encore l'eau s'y trouve combinée avec un oxyde inférieur à celui qui constitue la pyrolusite. C'est pour cela qu'il y a peu d'effervescence avec le borax: aussi la substance ne dégage-t-elle que 3 pour 100 d'oxygène à la chaleur rouge; il en résulte qu'elle doit avoir moins de valeur commerciale, en la supposant même à l'état de pureté, et qu'elle est surtout très impropre pour la préparation de l'oxygène.

Cette substance forme encore des gîtes considérables dans tous les terrains; elle est même plus abondante que la pyrolusite, avec laquelle d'ailleurs elle est souvent mélangée. Les dépôts de Laveline dans les Vosges, de la Voulte dans l'Ardèche, de Saint-Jean-de-Gardonnenque dans les Cévennes, de l'abbaye de Sept-Fonds dans l'Allier, etc., en sont presque entièrement composés.

§ 165. **Observations.** — Nous ne parlerons pas de la *braunite*, oxyde anhydre analogue à l'oligiste, parce qu'elle est peu abondante; ni de l'*hausmanite*, qui n'est que l'oxyde rouge qu'on obtient par la calcination, et qui est encore plus rare. La *psilomélane* n'a d'intérêt que comme combinaison naturelle encore peu connue d'un oxyde de manganèse avec une base; elle accompagne surtout la pyrolusite de Romanèche, mais se trouve aussi avec celle de Périgueux, et dans plusieurs autres localités. Ce qu'on a nommé l'*oxyde rouge de zinc* est une autre combinaison du même genre avec les oxydes de fer et de zinc.

4° Groupes des Chromides.

Corps donnant par la fusion avec la soude une matière d'un beau vert-pré au feu de réduction, et une matière jaune au feu d'oxydation.

§ 166. L'oxyde de chrome pur, qui est de couleur verte, est peu commun et peu important dans la nature. Sa combinaison avec l'oxyde de fer, ou *sidérochrome*, qui est plus abondante, est mal connue, tant sous le rapport des proportions que relativement à

l'espèce même d'oxyde de fer qui s'y trouve. C'est une matière noire, métalloïde, cristallisant en octaèdre, infusible au chalumeau et y devenant attirable à l'aimant. Elle forme des nids ou des amas dans les serpentines du département du Var, et en Amérique près de Baltimore, etc. On la connaît aussi hors de place sous la forme de sable noir, à l'île aux Vaches à Saint-Domingue, et on l'a confondue alors avec les titanates de fer.

On exploite ce chromite de fer pour fabriquer le chromate de potasse, qui sert à préparer le chromate de plomb, ou *jaune de chrome*, dont on fait usage en peinture et même dans la teinture, où il donne un jaune solide. On en fabrique aussi l'oxyde vert de chrome, dont on se sert sur émail et sur porcelaine.

Le *chromate de plomb* ou *crocoïse*, semblable à celui qu'on prépare artificiellement, se trouve dans la nature en cristaux prismatiques allongés, obliques, d'une couleur rouge-orangé assez intense. On ne le rencontre qu'en petites quantités, en veines, dans des roches quarzeuses micacées aurifères, à Bérésof en Sibérie, où il est quelquefois accompagné par le double chromate de plomb et de cuivre auquel on a donné le nom de *Vauquelinite*.

CLASSES DES TANTALIDES, TUNGSTIDES, MOLYBDIDES, URANIDES.

§ 168. — Il y a peu de corps importants dans ce groupe pour quiconque ne doit pas s'occuper spécialement de l'étude des minéraux; il suffit de quelques mots sur plusieurs d'entre eux.

L'urane se trouve dans la nature à deux degrés d'oxydation : le plus bas, qui provient principalement de quelques dépôts argentifères de Saxe et de Bohême, est une matière noirâtre, d'un éclat gras, fort pesante, infusible au chalumeau, soluble dans l'acide azotique, et précipitant en rouge sanguin par le cyanure ferroso-potassique. C'est cette espèce qui fournit à toutes les préparations d'urane de nos laboratoires.

Les MOLYBDIDES ne nous offrent que l'*acide molybdique*, en enduit pulvérulent, peu abondant, sur le sulfure de molybdène, dont nous parlerons plus tard, et le molybdate de plomb $Pb\ Mo^3$, nommé *plomb jaune*, à cause de sa couleur. Celui-ci provient particulièrement de Bleyberg, en Carinthie, où il se trouve dans un gîte de minerai de plomb; il se présente en cristaux qui appartiennent au système prismatique carré, et le plus souvent en prismes très courts ou en lamelles oblitérées qui en dérivent.

Les TUNGSTIDES nous présentent trois combinaisons d'acide tungstique, toutes trois très pesantes : la Scheelite $Ca\ T^3$, la Scheelitine $Pb\ Ta^3$, qui sont isomorphes, toutes deux blanches et en octaèdres à bases carrées, et le Wolfram ou scheelin ferruginé, combinaison double à base de protoxide de fer et de protoxide de manganèse. Cette dernière substance présente une matière noire et vitro-métalloïde, cristallisée en prismes rhomboïdaux obliques clivables sur les diagonales. Elle est assez commune et se trouve abondamment en France dans les granites de Chanteloube et de Puy-les-Vignes (Haute-Vienne), où d'ailleurs on trouve aussi la scheelite. Ces trois matières accompagnent souvent aussi les dépôts de minerai d'étain, et en ont été fréquemment regardées comme les indices. C'est du wolfram qu'on extrait l'acide tungstique, pour l'usage des laboratoires.

Les TANTALIDES n'offrent que des substances très rares, à base de fer et de manganèse, ou d'yttria, qui se trouvent disséminés dans les terrains de cristallisation en Bavière et en Suède.

CLASSES DES TITANIDES ET STANNIDES.

§ 169. Les oxydes de titane et d'étain sont des matières complétement isomorphes et dont l'analogie se soutient jusque dans les moindres détails. Ils jouent le plus souvent le rôle de corps électronégatif, mais le premier est jusqu'ici le seul que la nature présente distinctement en combinaisons avec quelques matières. Il n'y a que quelques indices de stannates en mélange dans divers corps.

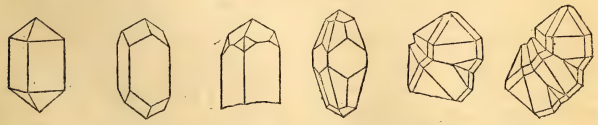
Les TITANIDES nous offrent d'abord le Rutile ou *acide titanique*, mélangé de titanate de manganèse. C'est une substance ordinairement d'un rouge brun, qui cristallise dans le système prismatique à bases carrées, dont les cristaux, rarements nets, offrent souvent des groupements plus ou moins analogues à ceux de l'oxyde d'étain, quelquefois comme ceux que nous avons indiqués fig. 267. Elle se trouve abondamment disséminée dans les terrains granitiques, comme à Saint-Yriex (Haute-Vienne), et à Gourdon (Saône-et-Loire), dans les Alpes, et dans un grand nombre de lieux. Nous avons aussi une substance bleue, beaucoup plus rare, en petits octaèdres à bases carrées, qu'on nomme Anatase, et qui paraît être cependant de même nature que la précédente. Il y a beaucoup de *titanates de fer* de diverses espèces, dont les uns constituent des sables noirs, formés de petits octaèdres, qu'on

rencontre principalement dans les ruisseaux des terrains basaltiques et trachytiques, et dont les autres se trouvent en petits nids disséminés dans les roches. Une de ces espèces, connue sous le nom de Chrichonite, cristallise en rhomboèdres aigus profondément tronqués, ou en lames minces qui rappellent l'oligiste disséminé dans les terrains de cristallisation et avec lequel elle se trouve à Saint-Christophe en Oisan. Le *silicio-titanate de chaux* ou Sphène, qui cristallise en prismes obliques rhomboïdaux extrêmement variés dans leurs modifications, se trouve abondamment disséminé dans certains dépôts granitiques des Alpes, principalement autour du Saint-Gothard; dans diverses roches amphiboliques qui font partie des terrains de granite, comme en Auvergne, en Bretagne, etc.

Oxyde d'étain. — *Cassitérite, mine d'étain.*

§ 170. **Caractères.** — L'oxyde d'étain naturel est une matière ordinairement brune, quelquefois blanche, cristallisant dans le système prismatique à base carrée comme le rutile, dont il est isomorphe; il est infusible au chalumeau, se réduit difficilement, à moins qu'on n'ajoute de la soude. Il est attaqué, quoique difficilement, par l'acide hydrochlorique, et la solution donne un précipité pourpre par le chlorure d'or. A l'état de pureté, il renferme 79 pour 100 d'étain métallique.

Les cristaux sont le plus souvent des prismes à bases carrées, terminés par des sommets à quatre faces, et modifiés de diverses manières, fig. *a*, *b*, *c*; quelquefois ils offrent des pyramides à huit faces à chaque sommet, tantôt simples, tantôt modifiées sur les angles ou les arêtes, fig. *d*. Très fréquemment les cristaux sont groupés deux à deux, et même en plus grand nombre, fig. *e*, *f*.



L'oxyde d'étain se trouve aussi en stalactites et en stalagmites à structure fibreuse, qui, le plus souvent, sont en fragments roulés, où les diverses couches d'accroissement se distinguent par des teintes différentes et imitent assez bien les couches de certains bois; de là le nom d'*étain de bois*.

Gisement. — L'oxyde d'étain appartient aux terrains de cristallisation, où il est assez souvent disséminé; mais où il forme aussi des masses puissantes, et rarement des filons. Il existe même dans la partie inférieure des terrains de sédiment, mais toujours dans le voisinage des roches cristallines qui s'y rattachent. Dans diverses localités il se trouve aussi en cailloux roulés dans certains dépôts d'alluvion; c'est ainsi qu'il est dans tous les dépôts exploités au Mexique, et qu'on le connaît en Cornouailles, ainsi que sur la côte de Piriac en Bretagne.

Usages. — L'oxyde d'étain est partout le minerai dont on retire l'étain. Il est assez abondamment répandu dans la nature, mais la France n'en possède que des indices sur la côte de Piriac en Bretagne, et à Vaulry près de Limoges. L'Angleterre, et principalement le Cornouailles, est, sous ce rapport, le pays le plus riche de l'Europe; elle livre annuellement au commerce environ trois millions de kilogrammes d'étain; la Saxe et la Bohême n'en produisent pas trois cent mille kilogrammes. Il en vient beaucoup de l'Asie méridionale, de la Chine, du pays de Malacca, de Sumatra, de Banca, etc., où le minerai paraît être extrêmement abondant. L'étain de Malacca est le plus pur.

CLASSE DES ANTIMONIDES, ARSÉNIDES, PHOSPHORIDES.

§ 171. **Caractères généraux.** — L'étain, dont nous venons de voir les minerais, établit une liaison entre le groupe actuel et le précédent : d'un côté par les combinaisons oxygénées, qui font dans l'une et l'autre division les fonctions d'acide; de l'autre par les chlorures, qui sont dans le même cas. Les chlorures d'étain, d'antimoine et de bismuth ont aussi de grandes analogies, quoique le premier cependant ne paraisse pas être isomorphe des deux autres.

L'antimoine et l'arsenic jouent exactement le même rôle dans les combinaisons où ils se trouvent à l'état métallique. Les antimoniures et les arséniures de même formule sont isomorphes, ce que nous présente surtout l'*antimonickel*, la *disomose*, la *cobaltine*, et ce qu'on observe encore mieux dans les produits artificiels; c'est aussi par ces derniers qu'on peut comparer les phosphures avec les arséniures et les antimoniures, dont ils sont également isomorphes. Les arséniates et les phosphates ont de telles analogies qu'on ne peut les distinguer au premier moment, et le peu d'anti-

moniates que nous connaissons dans les laboratoires nous présente les mêmes résultats.

Les matières qui composent cette classe de corps nous offrent surtout trois groupes dans lesquels nous distinguerons quelques substances qui sont particulièrement utiles aux arts, ou remarquables comme objets d'histoire naturelle.

1° Groupe des Antimonides.

Corps offrant immédiatement, ou donnant par calcination, une matière blanche, volatile par la chaleur, § 122, 1° et 123, 2°, attaquable par l'acide hydrochlorique, dont elle précipite en blanc par l'eau et en jaune par les hydrosulfates.

§ 172. Antimoine. — Ce métal se trouve à l'état libre dans la nature. Lorsqu'il est pur, il approche du blanc d'argent; mais lorsqu'il s'y trouve une petite quantité d'arsenic, il prend une teinte bleuâtre, et surtout noircit à l'air. Il n'est connu qu'en petites masses lamellaires dans les minerais arsénifères.

L'antimoine du commerce est extrait du sulfure d'antimoine. Son emploi le plus remarquable est pour la composition des caractères d'imprimerie, formés de 1 d'antimoine et de 4 de plomb. On l'allie avec l'étain pour les couverts de composition; 18 d'antimoine et 100 d'étain forment ce qu'on a appelé *métal du prince Robert*, qui est dur, blanc d'argent, et reçoit un beau poli. L'oxyde d'antimoine entre dans la composition de l'émétique, dans la poudre d'Algaroth, le kermès minéral, et diverses préparations pharmaceutiques.

Il existe peu d'antimoniures naturels. Celui d'argent (*discrase*) cristallise en prismes rectangulaires, et se trouve en petite quantité dans les mines d'argent arsénifères. On connaît un oxyde naturel de ce métal en aiguilles nacrées, de même nature que ce qu'on nomme les fleurs argentines d'antimoine dans les fabriques de produits chimiques, qui correspond à l'oxyde arsénieux. Il y a même des traces d'un oxyde plus élevé, hydraté, en enduit terreux sur le sulfure d'antimoine. Enfin on trouve le *kermès*, combinaison du premier oxide avec le sulfure : c'est une substance d'un rouge brun, translucide, en aiguilles cristallines qui paraissent être des prismes rhomboïdaux, et qui semblent souvent dues à la décomposition des sulfures dont nous parlerons plus tard.

§ 173. Bismuth. — Nous devons réunir ici le bismuth par suite de l'analogie que ses composés artificiels présentent avec les antimoniures de même formule; mais dans la nature on ne connaît

cette matière qu'à l'état libre, ou combinée sous le rôle de corps électro-positif dans les sulfures et les telluriures.

A l'état libre, le bismuth est un métal d'un blanc rougeâtre, très fusible, disséminé en petits nids dendritiques dans les dépôts d'arséniures de cobalt, qui font partie des gîtes argentifères. Il est peu commun dans la nature, et surtout peu employé dans les arts. On s'en sert principalement pour former l'alliage de Darcet, qui fond au-dessous de la température de l'eau bouillante, et dont on fait les plaques de sûreté dans les chaudières à vapeur.

2° Groupes des Arsénides.

Matières dégageant des vapeurs arsenicales, qu'on reconnaît à l'odeur d'ail, soit par simple grillage, soit par calcination avec de la poussière de charbon.

Arsenic.

§ 174. — Substance d'un éclat métallique dans la cassure fraîche, et noircissant promptement à l'air ; volatil à l'état métallique dans le tube fermé, et donnant de l'acide arsénieux en petits cristaux lorsqu'on la grille dans le tube ouvert.

L'arsenic se trouve en petites masses bacillaires et fibreuses, ou mamelonnées à la surface, et composées de couches concentriques. C'est une substance assez commune, quoique peu abondante, qui se trouve dans les gîtes métallifères, principalement dans ceux de sulfure d'argent et d'oxyde d'étain.

ARSÉNIURES.

§ 175. Smaltine. — Les arséniures les plus importants sont ceux de cobalt, dont il y a au moins deux espèces. Le bi-arséniure porte particulièrement le nom de *smaltine* ou *cobalt arsenical*. C'est une substance métallique gris d'acier dans la cassure fraîche, et qui se ternit à l'air ; elle cristallise en cubes diversement modifiés, ou se trouve en petites masses dendritiques qui forment ce qu'on nomme le *cobalt tricoté*. Ailleurs elle est mamelonnée ou globulaire, à structure fibreuse, ou enfin en masses compactes. Celles-ci, qui en général noircissent à l'air, paraissent être souvent des arséniures de la formule $Co^2 Ar^3$.

Le bi-arséniure, au plus grand état de pureté, renfermerait 28 de cobalt et 72 d'arsenic ; mais il est souvent mélangé d'arséniures de différents ordres, dont les uns augmentent et les autres dimi-

nuent les quantités de cobalt; d'où résultent des minerais très variables, qui sont même salis très souvent par des arséniures de nickel, de fer, etc.

Ces arséniures ne forment pas de gîtes à eux seuls; ils font partie des dépôts de sulfure d'argent et de chalkopyrite, principalement dans les terrains de cristallisation, comme en Saxe, en Bohême, etc., et rarement dans les terrains de sédiment entremêlés avec les premiers, comme à Sainte-Marie-aux-Mines dans les Vosges, dans la Hesse, le Hanau et la Thuringe. Dans les lieux où ils sont suffisamment abondants, ils sont exploités pour en tirer de l'oxyde de cobalt plus ou moins pur, et, le plus souvent, pour en fabriquer des verres bleus nommés *smalt*, qu'on emploie comme couleurs. Les produits les plus beaux, réduits en poudre fine, se débitent sous le nom d'*outremer*, qu'il ne faut pas confondre avec l'outremer véritable, que nous verrons plus tard; les autres se vendent sous le nom d'*azur*. On débite aussi sous le nom de *safre* le résidu du grillage des minerais de cobalt, mélangé de sable siliceux, qui, par la fusion ultérieure, produisent des verres bleus. Tous les bleus sur porcelaine, sur émail, sur les poteries, même les plus communes, et tous les verres bleus, sont formés avec des préparations de cobalt. Le *bleu Thénard* est un aluminate de cobalt qu'on obtient en mêlant des dissolutions d'alun et de cobalt, précipitant par le carbonate de soude et calcinant : c'est ce bleu qu'on obtient dans l'essai des subtances alumineuses, § 125, 2°. Le *vert de Rinmann* est un zincate de cobalt, qu'on obtient d'une manière analogue.

On évalue à un million de kilogrammes la quantité de cobalt extrait du sein de la terre, et qui, converti en smalt, en oxyde, en préparations diverses, offre un produit d'environ 3 millions de francs. La Saxe et la Suède en fournissent la plus grande partie; mais dans la dernière de ces contrées la matière qu'on travaille est le sulfarséniure, dont nous parlerons tout-à-l'heure.

§ 176. Nickéline. — Il se trouve dans la nature des arséniures de nickel qui correspondent aux arséniures de cobalt, dont sans doute ils sont isomorphes. Le plus commun est un simple arséniure Ni Ar, qu'on nomme *nickel arsenical* ou *nickéline*. C'est une matière douée de l'éclat métallique, rougeâtre, se ternissant lentement à l'air. On ne la connaît pas cristallisée. Elle est attaquable par l'acide azotique, auquel elle communique une belle couleur verte; la solution devient bleue par l'addition de l'ammoniaque, et précipite en vert par la potasse.

On connaît aussi un bi-arséniure Ni Ar^1 qui présente le même

caractère chimique, mais qui est gris d'acier, inaltérable à l'air et qui cristallise en cube, par conséquent comme la smaltine, à la formule de laquelle il correspond. Les analyses, souvent fort compliquées par des mélanges divers, semblent indiquer aussi l'existence d'un composé $Ni^2 Ar^3$.

Ces substances accompagnent presque partout les arséniures de cobalt, et s'exploitent en même temps qu'eux. On en prépare par la fusion une matière métallique rougeâtre nommée *speiss*, qui entre dans le commerce et sert à toutes les préparations de nickel, dont elle renferme une grande quantité avec de l'arsenic, du soufre, quelques traces de cobalt et de cuivre.

Le nickel, allié en petite quantité au laiton, forme le *maillechort*, matière connue depuis longtemps en Chine sous le nom de *pack-fung*, qui imite parfaitement l'argent et qu'on emploie beaucoup aujourd'hui. Si elle se ternit un peu à l'air, elle se nettoie avec la plus grande facilité et reprend tout son brillant.

SULFO-ARSÉNIURES.

§ 177. Cobaltine. — On connaît dans la nature plusieurs combinaisons d'arséniures et de sulfures des mêmes bases. La plus intéressante est le sulfo-arséniure de cobalt, qu'on nomme aussi *cobalt gris*, *cobalt éclatant* et *cobaltine*. C'est une matière d'un éclat métallique assez vif, blanc d'argent ou blanc-rougeâtre, qui cristallise dans le système cubique, et se clive en cube. C'est à cet état qu'on la rencontre le plus souvent, et les cristaux offrent les défauts de symétrie dont nous avons parlé, § 45, 3°; c'est-à-dire qu'ils sont en cubes passant au dodécaèdre pentagonal, en dodécaèdres, en icosaèdres, où les faces de l'octaèdre sont plus ou moins développées. Elle possède à peu près les caractères chimiques de la smaltine, si ce n'est qu'on reconnaît aussi l'indice du soufre par le grillage.

La cobaltine se trouve particulièrement en Suède et en Norwége, en amas plus ou moins considérables, dans les terrains cristallins, avec la chalkopyrite. Elle est généralement plus pure que la smaltine, et aussi plus riche en cobalt, dont elle renferme 35 pour 100 : elle est partout exploitée avec soin et employée aux mêmes préparations que le simple arséniure.

§ 178. Disomose. — C'est une substance gris d'acier à base de nickel, qui, par les indices de cristallisation et de clivage, rappelle la cobaltine et en devient isomorphe. Elle n'est encore

connue qu'en Suède, où elle accompagne la cobaltine. On l'a nommée aussi *nickel gris*.

§ 179. Mispikel. — Ce sulfarséniure de fer, composé comme les précédents, ne cristallise plus dans le système cubique; il se trouve, peut-être comme effet de dimorphisme, en prismes rhomboïdaux droits, tantôt isolés, tantôt groupés en petites masses bacillaires; on le connaît aussi à l'état compacte ou granulaire. Il a l'éclat métallique et la couleur blanc d'argent ou jaunâtre. Attaquable par l'acide nitrique, sa solution précipite abondamment en bleu par le cyanure ferroso-potassique.

Ce minéral se trouve souvent disséminé dans certains dépôts des formations cristallines, ou dans divers amas métallifères, particulièrement ceux d'oxyde d'étain; mais il forme aussi des gîtes en quelque sorte à lui seul, soit en amas, soit en filons. Il est exploité dans quelques endroits pour en tirer l'arsenic, avec lequel on prépare le *réalgar* et l'*orpiment* des peintres, ou l'acide arsénieux, qui sert à fabriquer le vert de Scheele (arséniate de cuivre), employé en peinture et sur les papiers peints.

ARSÉNIATES ET ARSÉNITES.

§ 180. Il n'y a pas un corps important à connaître dans les minéraux de cette série; cependant quelques uns peuvent fixer l'attention par leurs formes ou leurs couleurs.

L'*arséniate de plomb*, ou Mimétèse, est une substance ordinairement jaunâtre, cristallisée en prismes hexagones réguliers très nets, qui nous offrent un arséniate combiné avec un chlorure.

Les *arséniates de cuivre* sont remarquables par leurs couleurs vert-pré, vert sombre, vert-bleuâtre, ou par les dispositions des variétés fibreuses.

L'*arséniate de cobalt*, ou Éritrine, est d'une belle couleur violette lorsqu'il est en cristaux, et rose dans les variétés pulvérulentes. L'arsénite de la même base, toujours pulvérulent, offre aussi une teinte rose, mais qui tire sur le lilas.

Parmi les *arséniates de fer*, il en est un, la *sidérétine*, qui se forme journellement dans les mines; il est de couleur brune, très fragile, ordinairement très brillant dans la cassure, et qui rappelle la colophane. Il renferme souvent à la fois de l'acide arsénique et de l'acide sulfurique, ce qui montre qu'il est dû à la décomposition des sulfo-arséniures.

Les *arséniates de chaux* présentent de très petits cristaux ou

des houppes blanches cristallines, le plus souvent accompagnés et même colorés par l'arséniate rose de cobalt.

En général, les arséniates sont des produits modernes qui se forment journellement dans les dépôts d'arséniures.

3e Groupe des Phosphorides.

Corps non métalliques donnant par la fusion avec le carbonate de soude un sel soluble, dont la solution précipite en blanc par le nitrate de plomb et en jaune par le nitrate d'argent.

PHOSPHATES.

§ 182. Le groupe des phosphorides ne renferme encore que des phosphates dont quelques uns correspondent aux arséniates, mais qui sont encore plus variés. Il ne présente rien d'important sous le rapport des arts; mais quelques espèces méritent l'attention sous d'autres points de vue.

Le *phosphate de plomb*, ou Pyromorphite, isomorphe de la mimétèse et de même formule, est une combinaison de phosphate avec un chlorure ou un fluorure. Souvent en prismes hexagones réguliers diversement modifiés, il se présente aussi en cristaux aciculaires dont la réunion produit des masses fibreuses, ou bien en stalactites et sous forme mamelonnée. Cette substance, remarquable par la variété et le ton de ses couleurs accidentelles, se trouve dans les gîtes métallifères, et principalement avec le sulfure de plomb : nous avons en France quelques localités remarquables sous ce rapport, le Huelgoat en Bretagne, Lacroix-aux-Mines dans les Vosges, et Pontgibaud dans le Puy-de-Dôme.

Le *phosphate de chaux*, ou Apatite, est un composé isomorphe, en cristaux vitreux, blancs, transparents ou opaques, et quelquefois colorés, qui est en général disséminé dans le gneiss et le micaschiste. Rarement on le trouve dans les gîtes métallifères.

Il y en a aussi une variété lithoïde, entremêlée avec des couches ou des filons de quarz, qui constitue des collines entières, qu'on exploite même comme pierres à bâtir, à Logrosso dans l'Estramadure. Il s'en trouve des rognons à structure terreuse dans le terrain houiller, dans la craie et dans les argiles inférieures : il paraît que ce n'est pas le même phosphate que dans les cristaux.

Les *phosphates de cuivre* sont aussi variés que les arséniates, auxquels ils ressemblent beaucoup par leurs compositions, leurs formes, leurs couleurs, et qui la plupart se trouvent aussi dans les gîtes métallifères.

Les *phosphates de fer*, assez mal connus, sont, les uns cristallisés, les autres en petits noyaux, et le plus grand nombre en petites masses terreuses. La plupart sont des matières bleues, souvent nommées *bleu de Prusse natif;* mais il y en a aussi de vertes. Quelquefois les rognons sont blancs à l'intérieur, comme les phosphates qu'on prépare artificiellement en précipitant un sulfate de peroxyde ou de protoxyde de fer par un phosphate alcalin, et la matière bleuit par l'exposition à l'air.

Ces phosphates se trouvent, les uns dans les gîtes métallifères, comme en Cornouailles, d'autres dans les fissures des basaltes; la plupart des variétés terreuses se rencontrent dans des dépôts argileux de sédiment.

Les *phosphates de manganèse*, ou peut-être de manganèse et de fer, sont aussi de diverses sortes : les uns (la Triplite) bruns, en masses clivables; les autres rougeâtres et violets. Ils se trouvent dans les terrains de cristallisation, et c'est dans les granites du Limousin qu'on les a particulièrement rencontrés.

On doit distinguer aussi les *phosphates d'urane et de chaux* ou *d'urane et de cuivre :* le premier, d'une belle couleur jaune, se trouve en petite masse dans les granites de Marmagne près d'Autun, de Saint-Yriex près de Limoges; le second, de couleur verte, s'est trouvé principalement dans les gîtes stannifères de Cornouailles et de Bohême. Ces deux subtances isomorphes sont souvent en petits prismes carrés, groupés les uns sur les autres.

C'est aux *phosphates d'alumine* que se rapporte la Turquoise, matière d'un bleu verdâtre particulier assez recherchée dans la joaillerie; mais il y en a deux espèces : l'une, la *turquoise de vieille roche*, se trouve sous forme de petites veines ou de petits rognons, dans des matières argileuses à Nichabour en Perse; c'est une matière purement minérale. L'autre, *turquoise de nouvelle roche*, provient des dents ou des os de mammifères enfouis dans le sein de la terre, et accidentellement colorés en bleu verdâtre; elle est beaucoup moins dure, et beaucoup moins estimée. On imite parfaitement la turquoise par des émaux.

CLASSE DES TELLURIDES, SÉLÉNIDES, SULFURIDES.

§ 183. **Caractères généraux.** — Le tellure, le sélénium, le soufre, sont des corps qui jouent le plus souvent le rôle électronégatif, et qui dans tous les cas sont isomorphes. C'est ce qu'on observe surtout dans les laboratoires, car il y a peu de composés

naturels exactement comparables. Ainsi les telluriures, les séléniures, les sulfures, composés suivant la même formule, sont identiques par les formes, et tellement analogues par les autres caractères physiques, qu'on ne peut les distinguer. Les séléniates sont isomorphes des sulfates, et le peu de telluriates que nous connaissons nous présentent encore la même similitude.

Dans la nature, les telluriures, les séléniures et les sulfures de plomb et d'argent ne se distinguent pas à la vue. Ces substances ne sont pas toutes cristallisées; mais celles qui sont à base de plomb offrent toutes des clivages rectangulaires également nets, et, selon toute probabilité, cubiques, comme le sulfure de plomb. L'*euchaïrite* présente de même les plus grandes analogies avec la *stromeyérine*, composée suivant la même formule.

Toutes ces circonstances suffisent certainement pour rapprocher ces différents corps. Leur ensemble forme d'ailleurs un intermédiaire entre les arsénides et les chlorides; car, d'un côté, le tellure, le sélénium, le soufre, se volatilisent comme l'arsenic à l'état simple, et forment aussi des oxydes volatils; d'un autre côté, si le tellure forme, comme l'arsenic et le phosphore, des composés gazeux avec l'hydrogène, le sélénium et le soufre sont susceptibles de former des hydracides, comme l'iode, le chlore, etc.

1° Groupe des Sulfurides.

Corps solides pour la plupart, quelques uns liquides ou gazeux; dégageant des vapeurs d'acide sulfureux, soit immédiatement, soit par combustion, soit par l'action de la poussière de charbon à l'aide de la chaleur; ou bien donnant de l'hydrogène sulfuré lorsqu'après les avoir traités par le carbonate de potasse, seul ou mêlé de charbon, on projette le résidu dans de l'eau acidulée.

Soufre.

§ 184. **Caractères.** — Substance jaune, quelquefois verdâtre, brunâtre, rougeâtre, par suite de mélange; appartenant au système cristallin prismatique rectangulaire droit; facilement fusible, même volatil; très combustible, et se transformant en gaz acide sulfureux sans laisser de résidu lorsqu'elle est pure.

Elle se trouve assez fréquemment en cristaux, qui sont des octaèdres à bases rhombes, assez aigus, diversement modifiés; quelquefois en cristaux aciculaires ou en stalactites; souvent en masse compacte, translucide ou opaque, et parfois à l'état terreux, pulvérulent ou agrégé, présentant alors une teinte pâle.

Gisement. — Le soufre se trouve dans tous les terrains. Il existe en Hongrie, au Brésil, au Pérou, dans des couches de quarz subordonnées aux roches micacées et feldspathiques. On le connaît aussi dans quelques gîtes métallifères qui traversent les roches analogues. Il est surtout abondant dans les dépôts de sédiment, où il se trouve à tous les étages, et où presque toujours il est accompagné de sulfate de chaux, d'argiles diverses, et souvent de sel commun : on en a trouvé jusque dans la pierre à plâtre des environs de Paris. C'est dans les parties de ces terrains qui avoisinent les volcans en activité qu'il est le plus répandu : ainsi en Sicile, outre les veines et les nids disséminés en grand nombre dans tout le terrain de sédiment, le soufre forme des couches régulières plus ou moins épaisses, mêlées d'argile, de sulfate et de carbonate de chaux, qui atteignent jusqu'à dix mètres d'épaisseur, et dont l'extraction est considérable. En Islande, il forme aussi des dépôts très étendus du même genre, où il est en grains peu adhérents entre eux, qu'on peut exploiter à la pelle comme du sable. La quantité en est si grande, que cette île en pourrait fournir à elle seule le monde entier, quoique, à cause de la chaleur qui se dégage, on soit obligé de s'arrêter à un mètre ou deux de profondeur.

Tous les volcans en activité produisent du soufre; il s'en dégage en abondance des fissures qui se trouvent dans leurs cratères, et toutes les matières environnantes s'en recouvrent journellement. Les solfatares, sortes d'anciens cratères possédant encore quelque activité, en fournissent aussi en grande quantité, qui se dégage des fissures du terrain en même temps que l'acide sulfureux, l'acide hydrochlorique et la vapeur d'eau.

Les eaux chargées d'hydrogène sulfuré qui sourdent de l'intérieur de la terre, laissent des dépôts de soufre terreux ou pulvérulent sur leur passage ; c'est sans doute à des circonstances semblables que sont dus les dépôts de soufre au fond de certains lacs observés en Sibérie. Il se forme journellement du soufre par la décomposition des sulfates dans les lieux où ces sortes de sels se trouvent avec des matières organiques en décomposition.

Les échantillons de soufre cristallisé qui se trouvent dans les collections proviennent tous des terrains de sédiment, soit de Girgenti en Sicile, où ils sont quelquefois d'un grand volume, soit de Césenne, à six lieues de Ravenne, sur l'Adriatique ; ou de Conilla, à huit lieues de Cadix, en Espagne, deux localités où ils sont d'une grande netteté et d'une belle transparence. Il y en a aussi d'assez beaux de Saint-Boës, près de Dax, dans les Landes.

Usages. — Le soufre est employé particulièrement pour la fabrication de la poudre à canon et pour la préparation de l'acide sulfurique, qui en consomme des quantités prodigieuses : on en prépare aussi l'acide sulfureux, qui sert au blanchiment des tissus. On sait qu'il sert à la fabrication des allumettes, et qu'il est aussi employé en médecine sous différentes formes. Il peut être très utile dans les feux de cheminée ; car il suffit de jeter une poignée de soufre en poudre dans le foyer pour qu'il se développe une grande quantité d'acide sulfureux, qui a la propriété d'éteindre les corps enflammés et peut arrêter à l'instant l'incendie.

SULFURES.

§ 185. **Caractères généraux.** — Le plus grand nombre des sulfures sont solides et doués de l'éclat métallique ; la plupart donnent l'odeur sulfureuse par le grillage, et laissent un résidu qui décèle les substances avec lesquelles le soufre est combiné. Dans quelques uns, les bases elles-mêmes, ou leurs oxydes, sont volatils et se dégagent aussi par l'action de la chaleur.

Par la fusion avec la soude, ils donnent tous une matière qui laisse dégager de l'hydrogène sulfuré par l'action de l'eau acidulée. Ils sont aussi attaquables par l'acide azotique, avec dégagement de gaz nitreux ; la solution précipite alors par l'azotate de baryte, qui indique l'acide sulfurique formé, et ensuite par divers réactifs qui dénotent la nature des bases.

Il y a des sulfures de divers ordres de composition : les uns simples, les autres doubles ou même triples, quelquefois plus compliqués encore par suite des substitutions isomorphes. Les sulfures simples sont composés :

La plupart de	1	atome de base	1	atome de soufre.
Quelques uns de	1	atome de base	2	atomes de soufre.
Rarement de	2	atomes de base	1	atome de soufre.
Ailleurs de	2	atomes de base	3	atomes de soufre.

Les composés doubles ou triples sont extrêmement variés.

Analogies des espèces. — Tous ces composés, simples, doubles ou triples, ont entre eux les plus grandes analogies physiques. La plupart sont doués de l'éclat métallique ; un grand nombre cristallisent dans le système cubique, et surtout les sulfures *argyrose*, *galène*, *blende*, qui sont de même formule de composition. La pyrite commune, qui est un bisulfure, est dans le même cas. Quelques uns appartiennent au système rhomboédrique, comme la *chalko-*

sine, le *cinabre*, la *molybdénite*, l'*argyrithrose* et la *proustite*. Les autres appartiennent aux systèmes prismatiques droits ou obliques, ou ne manifestent aucune trace de cristallisation.

Gisement : importance. — La plupart des sulfures forment des filons, ou des amas, dans les terrains de cristallisation ; quelquefois aussi dans les terrains de sédiment, et surtout dans les points où ceux-ci avoisinent les premiers. Il en est un grand nombre qui sont très importants, parce qu'ils offrent les minerais dont on extrait les métaux les plus utiles, argent, plomb, cuivre, zinc, mercure, antimoine, etc. Ce sont ceux qui nous occuperont spécialement.

Hydrogène sulfuré.

§ 186. **Caractères.** — Corps gazeux, incolore, d'une odeur d'œuf pourri; soluble dans l'eau, à laquelle il communique la même odeur. Combustible au contact d'un corps enflammé, et se convertissant alors en eau et en acide sulfureux.

Manière d'être. — Cette matière se dégage fréquemment, à l'état gazeux, dans les phénomènes volcaniques, et aussi par les crevasses du sol lors des tremblements de terre. Mais c'est principalement en solution dans l'eau qu'elle se trouve en un grand nombre de lieux, où elle constitue les *eaux minérales hépatiques* ou *sulfureuses*.. Telles sont les eaux de Baréges, de Bagnères, etc. dans les Pyrénées, de Bourbon-l'Archambault dans l'Allier, de Greoulx (Basses-Alpes), d'Enghien près de Paris, ou les boues de Saint-Amand près de Valenciennes, etc. Ces eaux sont administrées avec avantage dans certaines maladies, et principalement à l'extérieur. On les rend plus faibles pour l'intérieur.

Ce gaz est quelquefois condensé dans les pores de certaines matières. Les masses de soufre, par exemple, en dégagent une grande quantité au moment où on les tire du sein de la terre, ainsi que les dépôts terreux dans lesquels elles se trouvent.

Argyrose. — *Argent sulfuré*, *mine d'argent*.

§ 187. **Caractères.** — Substance métalloïde, gris d'acier et gris de plomb, peu éclatante, cristallisant dans le système cubique, mais non clivable; légèrement ductile, et se coupant avec un instrument tranchant.

Fusible au chalumeau et réductible sur le charbon en un bouton d'argent métallique; soluble dans l'acide azotique, et donnant un précipité d'argent sur une lame de cuivre.

Ce minéral, à l'état de pureté, renferme 87 pour 100 d'argent.

L'argyrose est quelquefois en cristaux cubiques ou octaèdres, groupés fréquemment en dendrites, ou bien en filaments droits ou contournés, et en petites masses mamelonnées.

Gisement. — Cette substance se trouve en filons, en amas plus ou moins riches, dans les terrains de cristallisation, ou dans les terrains de sédiment qui les avoisinent; elle est presque toujours accompagnée de sulfure de plomb, qui fréquemment est la partie dominante. Les dépôts les plus célèbres en Europe sont ceux de Hongrie et de Transylvanie; viennent ensuite les mines de Kongsberg en Norwége, de Sala en Suède, des environs de Freyberg en Saxe, du Mansfeld, de la Westphalie. C'est encore l'Amérique équatoriale qui présente à cet égard les richesses les plus considérables : le Mexique et le Pérou offrent aussi des dépôts d'argyrose prodigieux de puissance, de pureté et d'étendue, et qui pourraient fournir des millions de quintaux d'argent, si les bras, l'eau et le combustible n'y manquaient. Du reste, presque tous les dépôts de galène renferment soit du sulfure d'argent, soit de l'argent disséminé, qu'on extrait par différents procédés.

Galène. — *Plomb sulfuré, minerai de plomb.*

§ 188. **Caractères.** — Substance métalloïde, gris de plomb, brillante, cristallisant en cube et clivable parallèlement aux faces de ce solide; non ductile, se raclant au lieu de se couper avec un instrument tranchant.

Facilement réductible en plomb métallique sur le charbon; soluble dans l'acide azotique, et donnant des lamelles métalliques brillantes, gris de plomb, par l'action d'un barreau de zinc; renfermant 87 pour 100 de plomb à l'état de pureté.

La galène se trouve assez fréquemment cristallisée en cubes, en octaèdres, diversement modifiés; elle se présente aussi sous des formes empruntées au carbonate et au phosphate de plomb, qui, par la décomposition, sont passés à l'état de sulfure, § 69; mais c'est en masses lamellaires, à lamelles plus ou moins fines, qu'elle se trouve principalement.

Gisement : usages. — Cette substance appartient à tous les terrains; elle se trouve dans les dépôts de cristallisation comme dans les dépôts de sédiment, et elle s'arrête seulement dans la partie moyenne de la série de ces derniers, dans ce qu'on appelle le lias, § 160, note. Elle forme des filons, des amas et des couches, où elle est presque toujours accompagnée de sulfure de zinc, de dif-

férents sels de plomb, de sulfate de baryte, de fluor, etc. Quelquefois elle est disséminée par petits nids nombreux dans des matières arénacées. Ailleurs, elle se trouve entièrement mélangée avec des matières siliceuses, ou autres, en particules si fines qu'il en résulte un tout homogène et compacte.

Les dépôts de galène sont abondants, mais inégalement répandus à la surface de la terre. La France en renferme peu, et nos exploitations les plus remarquables sont celles de Poullaoen et du Huelgoat en Bretagne ; cependant il s'en trouve eucore dans les Vosges, l'Isère, la Lozère, le Tarn, le Lot, le Cantal et le Puy-de-Dôme. La production ne suffit pas à nos besoins, et il en entre annuellement pour 3 ou 4 millions de l'étranger. C'est l'Angleterre, surtout le Derbyshire et le Northumberland, qui en fournit le plus : cette contrée produit à elle seule plus de la moitié de ce que donne l'Europe, dont la production annuelle est à peu près de 38 millions de kilogrammes, d'une valeur moyenne de 30 millions de francs.

La galène brute, réduite en poudre, et désignée alors sous le nom d'*alquifoux*, sert à former le vernis des poteries grossières ; elle est réduite, dans l'opération, en litharge qui se fond à la surface de la poterie en un vernis jaune, qu'on colore aussi en vert, en brun, par des oxydes de cuivre et de manganèse. C'est avec cette même poudre qu'on fait les papiers métallifères dont on couvre les boîtes, les coffrets.

Blende. — *Sulfure de zinc, zinc sulfuré.*

§ 189. **Caractères.** — Substance non métalloïde, jaunâtre ou brune, cristallisant dans le système cubique, mais clivable en tétraèdres, en octaèdres ou en dodécaèdres rhomboïdaux.

Infusible au chalumeau, non réductible; solution azotique assez difficile, donnant, par l'ammoniaque, un précipité blanc qui se redissout par un excès d'alcali.

Contenant, à l'état de pureté, 67 pour 100 de métal ; mais fréquemment combinée avec du protosulfure de fer, qui la colore en brun plus ou moins foncé.

Dans les collections, on voit souvent la blende en cristaux tétraèdres et octaèdres diversement modifiés. Les grandes masses qu'elle forme dans le sein de la terre sont, en général, à structure lamellaire.

Gisement, usage actuel. — Cette substance forme rarement des gîtes à elle seule; elle se trouve principalement avec la galène, où

elle est quelquefois en quantité considérable. Elle a été rejetée pendant longtemps comme inutile; mais aujourd'hui on l'exploite pour en tirer le métal qu'on emploie à un grand nombre d'usages et pour la fabrication du *laiton*, ou *cuivre jaune*, alliage de 35 parties de zinc et 65 de cuivre, éminemment utile dans les arts, et qu'autrefois on préparait uniquement avec la calamine, dont nous parlerons plus tard.

La blende est donc devenue un minéral important, et le deviendra de plus en plus, car l'usage du zinc s'étend journellement. On en prépare peu en France, et il en entre annuellement plus de 4 millions de quintaux, qui proviennent en général de la Belgique. Nous nous sommes seulement affranchis en grande partie de l'importation du laiton, dont la consommation annuelle s'élève à près de 2 millions de kilogrammes.

Il y a beaucoup de choix à faire dans le zinc métallique qu'on emploie, car il y a des différences très considérables de durée. Celui qui renferme du fer, qui le rend toujours aigre et cassant, doit être en général rejeté, non seulement par suite de cet inconvénient, mais encore parce qu'il s'oxyde plus promptement. C'est le zinc pur qui doit être particulièrement recherché.

§ 190. Le *sulfure de cadmium* est souvent mélangé en très petite quantité avec le blende. On l'a indiqué en petits mamelons orangés dans les mines de Leadhills en Écosse.

Pour l'usage des laboratoires on tire le cadmium des matières, ou *cadmies*, amassées dans les cheminées des usines où l'on traite les minerais du zinc, et où ses composés se subliment plus abondamment que ceux de ce dernier métal.

Cinabre. — *Mercure sulfuré, vermillon.*

§ 191. Substance non métalloïde, rouge ou brune, à poussière d'un beau rouge, très pesante, cristallisant dans le système rhomboédrique, clivable en prismes hexagones. Volatile sans résidu dans le tube fermé, et donnant des globules de mercure lorsqu'on l'a préalablement mêlée de carbonate de soude; attaquable par l'eau régale, et précipitant alors du mercure sur une lame de cuivre. Composée de 86 pour 100 de mercure et 14 de soufre.

Les cristaux de cinabre sont généralement petits et rares; ceux d'Europe présentent toujours des combinaisons de rhomboèdres; ceux de la Chine, plus volumineux, sont en prismes hexagones et clivables sur leurs faces.

On trouve le plus souvent le cinabre en masses granulaires ou

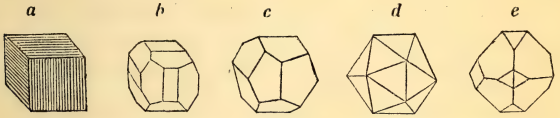
compactes, quelquefois à l'état terreux, et colorant les matières argileuses ou autres qui l'accompagnent. C'est du cinabre, dont nous avons indiqué § 152 les principaux gîtes, qu'on retire le mercure.

Pyrite. — *Fer sulfuré, pyrite martiale, marcassite.*

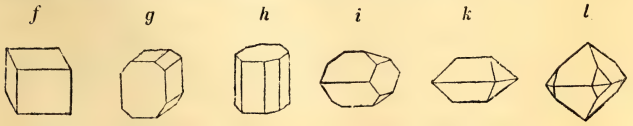
§ 192. **Caractères généraux.** — Substance métalloïde, jaune d'or ou jaune-verdâtre; solution azotique précipitant abondamment en bleu par le cyanure ferroso-potassique.

Distinction de deux espèces. — Ce composé se présente sous deux systèmes de cristallisation : le système cubique et le système prismatique rhomboïdal.

1° Dans le système cubique, la couleur est jaune d'or, et l'éclat très vif; les cristaux, très variés, sont souvent en cubes striés sous trois directions fig. *a*, fréquemment modifiés par le dodécaèdre pentagonal fig. *b*. On trouve souvent aussi ce dodécaèdre complet fig. *c*, et l'icosaèdre fig. *d*, *e*; l'un et l'autre modifiés d'un grand nombre de manières, et offrant en général de beaux polyèdres.



2° Dans le système prismatique, la couleur est d'un jaune verdâtre et terne. La matière se présente en prismes rhomboïdaux diversement modifiés fig. *f*, *g*, *h*, ou en octaèdres fig. *i*, *k*, *l*, modifiés d'un grand nombre de manières. Les groupements sont aussi très remarquables dans cette espèce où se trouvent les réunions d'octaèdres déformés dont nous avons parlé, page 42, fig. 266.



Le sulfure cubique se conserve parfaitement; mais le sulfure prismatique se décompose avec la plus grande facilité, et ne peut jamais être conservé longtemps dans les collections; il se fendille d'abord, se gonfle, et se réduit en sulfate de fer. C'est cette variété qu'on nomme *pyrite blanche*, *fer sulfuré blanc* et *sperkise*.

Outre les formes cristallines, les sulfures de fer, et principalement le second, se présentent en groupements dendritiques, en boules couvertes de cristaux à la surface, en masses mamelonnées, en stalactites, et sous des formes empruntées aux coquilles, principalement aux ammonites, sous la forme de bois, etc. On les trouve aussi en petites masses fibreuses et compactes.

Fréquemment les sulfures de fer ont été décomposés dans la nature sans perdre les formes sous lesquelles les matières s'étaient primitivement agrégées ; leurs cristaux, leurs pseudomorphoses, se trouvent alors convertis en hydrate de peroxyde de fer.

Gisement. — Ces sulfures de fer sont extrêmement abondants à la surface du globe ; ils sont disséminés partout, en cristaux, en nids, en rognons, en boules, en petits amas, en veines, dans les roches cristallines comme dans les dépôts de sédiment, et dans tous les gîtes métallifères où ils offrent en général de belles cristallisations. On peut dire, sans trop généraliser le fait, que le sulfure prismatique appartient plus que l'autre aux terrains de sédiment. C'est à la pyrite que se rapportent le plus souvent les prétendues découvertes d'or dont le peuple se berce quelquefois.

Usages. — Dans les lieux où les pyrites sont abondantes, on les rassemble pour la fabrication du sulfate de fer et de l'alun, en aidant quelquefois à la décomposition par un grillage préalable, surtout pour l'espèce non altérable à l'air. On s'en est aussi servi pour en retirer le soufre par une sorte de distillation en vase clos. Lorsqu'elles sont aurifères, comme à Macugnaga en Piémont, autour de Freyberg en Saxe, à Bérézof en Sibérie, on les exploite pour en tirer l'or, soit par lavage, soit par amalgamation.

Autrefois on travaillait l'espèce non altérable, et sous le nom de *marcassite*, on en faisait des boutons, des plaques d'ornements à facettes qui produisaient un assez bel effet à la lumière. Les bijoux d'acier ont détruit cette industrie. On en a trouvé des plaques polies dans les tombeaux des anciens Péruviens, et l'on a supposé qu'elles leur servaient de miroirs ; de là le nom de *miroir des Incas*. A l'invention des armes à feu on s'est servi du sulfure de fer au lieu de pierre à fusil ; de là les noms de *pyrite*, et de *pierre d'arquebuse*.

§ 193. **Autre espèce.** — Il y a une autre espèce de pyrite fort distincte des précédentes par tous ses caractères. Elle est magnétique : de là le nom de *pyrite magnétique*, brun de tombac, d'où est venu le nom allemand de *leberkies*, avec éclat métallique. Elle se trouve cristallisée en prismes hexagones qu'on regarde comme réguliers. Elle laisse surnager du soufre par la solution dans l'acide

hydrochlorique. Enfin sa composition présente une combinaison de persulfure et de protosulfure. Elle se trouve en petites masses lamellaires, quelquefois en cristaux, dans les roches cristallines, et principalement à Bodenmais en Bavière.

Molybdénite. — *Molybdène sulfuré.*

§ 194. Substance métalloïde, gris de plomb, onctueuse au toucher, offrant de petits cristaux rares en prismes hexagones réguliers, ou de petites masses lamellaires composées de lamelles flexibles.

Infusible au chalumeau, laissant par le grillage un résidu blanc d'acide molybdique; attaquable par l'acide azotique, et laissant un précipité insoluble de même matière.

Cette substance se trouve en petits amas dans les terrains cristallins, où quelquefois aussi elle est disséminée; parfois on la rencontre dans les dépôts métallifères d'étain, de fer magnétique et de cuivre. Elle est assez commune dans les Alpes, les Pyrénées, etc.; mais elle n'a d'autre emploi que dans les laboratoires pour la préparation du molybdène et de ses composés.

Chalkosine. — *Cuivre sulfuré, cuivre vitreux.*

§ 195. Substance métalloïde, gris d'acier, presque ductile; se coupant facilement avec un instrument tranchant; cristallisant en prismes hexagones réguliers diversement modifiés.

Fusible au chalumeau, donnant des grains de cuivre lorsqu'on traite la matière grillée sur le charbon avec de la soude; soluble dans l'acide azotique, solution devenant bleue par un excès d'ammoniaque, et ne donnant alors que peu ou point de précipité.

La chalkosine, qui renferme 80 pour 100 de cuivre, est en général une matière accidentelle des gîtes de cuivre pyriteux; mais elle est assez abondamment disséminée, en petits rognons, dans les schistes du grès rouge (§ 160, *note*) aux pays de Mansfeld et de Hesse; elle forme aussi presque à elle seule les dépôts cuivreux de l'Oural, où elle se rattache encore aux dépôts sédimentaires. Elle est d'autant plus importante alors que le cuivre pyriteux manque entièrement dans les provinces russes.

Chalkopyrite. — *Cuivre pyriteux, pyrite cuivreuse.*

§ 196. **Caractères.** — Substance métalloïde, jaune de bronze, cristallisant dans le système prismatique à base carrée; fusible au

chalumeau en globules attirables à l'aimant, et qui donne ensuite des globules de cuivre avec la soude. Attaquable par l'acide azotique ; solution devenant bleue lorsqu'on y ajoute un excès d'ammoniaque, et donnant en même temps un précipité abondant jaune, qui est de l'oxyde de fer.

Le cuivre pyriteux, beaucoup moins riche que la chalkosine, renferme 35 de cuivre, 30 de fer et 35 de soufre, à l'état de pureté.

Cette matière se trouve quelquefois cristallisée ; on la connaît en tétraèdres et en octaèdres que l'on a crus longtemps réguliers. Il était, en effet, facile de se tromper dans des mesures peu rigoureuses ; car, par exemple, le tétraèdre de cette substance a ses faces inclinées de 110° et 71° 10′, ce qui est très près de 109° 28′ 16″, et 70° 31′ 44″ du solide régulier de la géométrie. Du reste, la chalkopyrite se présente en masses compactes, très brillantes dans la cassure fraîche, qui se trouvent souvent mélangées de matières étrangères avec lesquelles elle est entremêlée.

Gisement. — Ce minerai de cuivre appartient en général aux terrains granitiques, où il forme souvent des filons ou des amas puissants. On le trouve cependant aussi dans les terrains de sédiment, particulièrement dans les *schistes cuivreux*, que nous venons de citer dans le Mansfeld en y indiquant la chalkosine.

Importance. — Ce sulfure est le principal minerai de cuivre ; et partout où il existe, du moins en quantité suffisante, on l'exploite avec activité. Mais la France est peu riche sous ce rapport : nous ne possédons que les mines de Chessy et Sainbel, près de Lyon ; celles de Baigorry, dans les Pyrénées, sont actuellement épuisées ; celles des Vosges, où le cuivre n'était qu'accidentel, n'ont jamais produit beaucoup ; et s'il en existe des indices dans d'autres lieux, ils ne paraissent pas pouvoir suffire aux dépenses que nécessiteraient des établissements : aussi tirons-nous annuellement de l'étranger pour 8 à 9 millions de ce métal.

Les pays qui possèdent les mines de cuivre les plus abondantes sont l'Angleterre, la Russie, l'Autriche et la Suède. La première de ces contrées fournit près de la moitié de la masse totale qu'en produit l'Europe, et qui s'élève à 21 millions de kilogrammes. Il nous vient aussi du cuivre de la Chine, du Japon, du Mexique et du Chili.

Stibine. — *Antimoine sulfuré.*

§ 197. **Caractères.** — Substance métalloïde, gris de plomb, cristallisant en prismes rhomboïdaux, clivables parallèlement au plan des petites diagonales.

Très facilement fusible au chalumeau, et donnant par le grillage des vapeurs blanches abondantes; attaquable par l'acide azotique, avec précipité immédiat d'oxyde d'antimoine.

La composition Sb^2 Su^3 de cette substance correspond à 73 d'antimoine et 27 de soufre.

Les cristaux de stibine sont de longs prismes terminés au sommet par quatre faces, et qui sont le plus souvent groupés en masses bacillaires. La substance se trouve souvent aussi en masse lamellaire et quelquefois compacte.

Gisement, emploi. — Cette matière, quoique peu abondante, se trouve cependant assez communément, et constitue à elle seule des filons dans le granite ou les roches qui s'y rattachent; elle est aussi subordonnée à d'autres gîtes métallifères, et principalement aux dépôts d'argyrose. Elle est exploitée pour en tirer le métal dont nous avons précédemment indiqué les usages § 172. Nous en avons en France dans l'Ardèche, le Gard, la Lozère, la Haute-Loire, le Cantal, le Puy-de-Dôme, etc.

§ 198. **Ses combinaisons.** — La stibine se trouve fréquemment combinée avec d'autres sulfures, comme on le voit dans le tableau de classification, en formant divers composés de même formule, avec des bases différentes. La plupart de ces substances offrent peu d'importance, mais celles qui renferment de l'argent attirent l'attention sous le rapport des arts; telles sont :

1° L'Argyrithrose ou *argent rouge, argent antimonié sulfuré*, substance non métalloïde, de couleur rouge, cristallisant dans le système rhomboédrique. Elle est fusible au chalumeau, dégage des vapeurs d'antimoine par la calcination, et laisse en définitive un bouton d'argent. Elle renferme 59 pour 100 d'argent.

La cristallisation de l'argyrithrose est très variée; elle offre des prismes à bases d'hexagones réguliers, des scalénoèdres, des dodécaèdres à triangles isocèles, souvent groupés en dendrites ou en petites masses botryoïdes.

Cette substance ne se trouve qu'en petite quantité dans les mines d'Europe, et subordonnée aux gîtes d'argyrose; mais au Mexique et au Pérou elle forme la partie la plus importante de certains dépôts et la source de produits considérables.

2° La Psaturose ou *argent sulfuré aigre, argent antimonié sulfuré noir*. Substance métalloïde, gris de fer; cristallisant en prismes rhomboïdaux; elle est très riche en argent, dont elle renferme 69 pour 100, et se trouve avec la précédente.

3° La Miargyrite, qu'on ne connaît encore qu'à Braunsdorf en Saxe, dans les minerais argentifères; elle est aussi en prismes

rhomboïdaux, mais d'un éclat moins prononcé, d'une couleur plus noire; elle diffère aussi par ses proportions, la quantité d'argent n'allant qu'à 36 pour 100.

Il existe aussi des combinaisons triples de sulfure d'antimoine avec des sulfures de cuivre et de plomb, le dernier remplacé quelquefois par le sulfure d'argent. Ce sont elles qui ont porté et portent souvent encore le nom de *cuivre gris*, groupe qu'on a déjà divisé en *bournonite*, *polybasite* et *panabase*, qui renferment sans doute encore beaucoup de matières différentes.

La bournonite est en cristaux qui se rattachent au prisme rectangulaire. La polybasite, qui renferme 64 pour 100 d'argent, est en prismes hexagones accolés les uns aux autres, et qui pourraient bien être réguliers; elle provient surtout des mines de Guanaxato et de Guarisamey au Mexique; ce serait une substance précieuse si elle était en masse considérable. La panabase cristallise en tétraèdres réguliers. Toutes ces substances sont des matières de filons : cependant la dernière forme çà et là des gîtes particuliers où elle est exploitée comme minerai de cuivre, recherchée surtout par l'argent qu'elle renferme le plus souvent; mais elle est difficile à traiter à cause de l'antimoine.

§ 199. **Remplacé par l'arsenic.** — L'arsenic remplace quelquefois l'antimoine dans les combinaisons; c'est ce qui arrive dans la *proustite*, espèce d'argent rouge ou sans aucun changement dans les caractères physiques : il n'y a plus que de l'arsenic au lieu d'antimoine. L'arsenic se trouve presque toujours aussi dans la polybasite et la panabase, et c'est en la rassemblant avec l'antimoine qu'on arrive aux formules indiquées.

Réalgar *et* orpiment.

§ 200. — Ces deux substances ne présentent pas l'éclat métallique; la première est rouge lorsqu'elle est en masse, et la seconde jaune. Elles donnent une forte odeur d'ail par le grillage, et ne laissent aucun résidu.

Le réalgar se trouve en prismes rhomboïdaux obliques assez nettement prononcés, réunis quelquefois en petites masses bacillaires; le plus souvent il est en petites masses compactes.

L'orpiment se trouve en cristaux peu distincts, rhomboïdaux, avec des clivages parallèlement aux plans des diagonales, dont un beaucoup plus distinct que l'autre, comme dans la stibine. On le rencontre plus fréquemment en petites masses lamellaires, quelquefois oolitiques, ou bien compactes et terreuses.

Ces substances, très peu abondantes, sont des matières accidentelles de filons; quelquefois elles se trouvent disséminées dans certains dépôts cristallins, dans les produits immédiats des volcans ou dans les solfatares. Elles sont employées en peinture sous les noms d'*orpin rouge* et d'*orpin jaune ;* mais celles du commerce se préparent artificiellement avec l'arsenic et le soufre.

ACIDES SULFUREUX ET SULFURIQUE.

§ 201. — Le premier de ces corps, qui se trouve à l'état gazeux, ou dissous dans l'eau, donne immédiatement l'odeur du soufre. Le second, qui est à l'état liquide, donne la même odeur par l'action de la poussière de charbon, à l'aide de la chaleur, lorsqu'il est suffisamment concentré.

L'acide sulfureux à l'état de gaz est rejeté en abondance pendant les phénomènes volcaniques; il s'en dégage en tout temps des cratères des volcans actifs et des solfatares en activité.

L'acide sulfurique est à l'état de solution dans l'eau; le plus bel exemple est offert par le ruisseau nommé *Rio Vinagre*, au volcan de Puraze, dans le Popayan. C'est cet acide qui, en désagrégeant les roches trachytiques, les réduisant en bouillie, prépare les terribles éruptions boueuses de Java. On le cite aussi dans certaines eaux hépatiques, où il provient de la décomposition de l'hydrogène sulfuré.

SULFATES.

§ 202. **Idée générale.** — Les sulfates sont faciles à reconnaître lorsqu'on les traite au feu avec un mélange de charbon et de sous-carbonate de soude; la matière qui en résulte dégage de l'hydrogène sulfuré par l'eau acidulée.

La plupart des sulfates sont hydratés; plus des deux tiers sont solubles dans l'eau, qui précipite alors de diverses manières, selon la nature des bases. Ceux qui sont insolubles, traités par la méthode § 122, 7°, laissent leurs bases à l'état de carbonate, qu'on peut dissoudre dans un acide pour en examiner la nature.

Il n'y a que deux sulfates qui forment des dépôts assez considérables à la surface de la terre; plusieurs autres sont le plus souvent des matières accidentelles des gîtes métallifères, et le plus grand nombre se forment journellement en petites quantités.

Sous le rapport des usages, la pierre à plâtre, qui appartient à ce groupe, est peut-être la matière la plus importante; car, si l'on

trouve dans la nature beaucoup de sulfates utiles dans les arts, ils n'y sont pas assez abondants pour suffire à nos besoins, et il faut les préparer artificiellement.

Nous nous occuperons spécialement ici de ceux des sulfates qui ont le plus d'importance sous différents rapports.

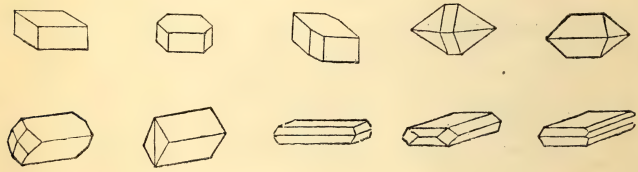
Anglésite, Barytine, Célestine.

§ 203. **Caractères.** — Ces trois sulfates ont de très grandes analogies. Tous trois remarquables par leur poids, et naturellement incolores, ils présentent les mêmes genres de formes cristallines, qui peuvent être ramenées à des prismes rhomboïdaux peu différents, savoir :

Pour la barytine à un prisme rhomboïdal de. .	101° 42' et 78° 18'
Pour l'anglésite.	103° 42' et 76° 18'
Pour la célestine.	104° 30' et 75° 30'

L'anglésite n'est pas clivable; mais les deux autres substances se clivent avec facilité, suivant les prismes indiqués.

Les formes sont très nombreuses, surtout dans la barytine, qui est plus commune : ce sont des formes du troisième groupe cristallin, et particulièrement des prismes rhomboïdaux, simples ou modifiés de diverses manières, des octaèdres d'une espèce ou de l'autre, et toutes leurs modifications tabulaires. Les figures suivantes donnent une idée générale de ces formes.



L'anglésite noircit au contact de l'hydrogène sulfuré; elle est fusible au chalumeau et réductible sur le charbon par l'intermédiaire du carbonate de soude. La barytine et la célestine ne noircissent pas, et ne donnent aucun globule métallique : la première est difficilement fusible; la seconde fond avec facilité. La solution barytique précipite toujours par un sulfate, quelque étendue qu'elle soit, et non la solution strontianique.

Outre les variétés cristallines, la barytine se présente sous des

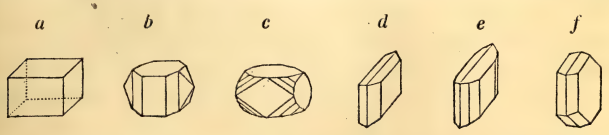
formes mamelonnées et stalactitiques, en masses bacillaires et fibreuses, en masses lamellaires, grenues et compactes. Ces variétés, quoique existant dans la célestine, y sont cependant moins communes; les variétés fibreuses y sont fréquemment alors de couleur bleuâtre, d'où leur est venu le nom que nous avons conservé.

Gisement. — L'anglésite se trouve uniquement, et généralement en petits cristaux, dans les gîtes métallifères de plomb et de cuivre. La barytine, qui est très abondante dans cette position, constitue aussi des veines et des filons à elle seule dans les roches granitiques, comme à Royat en Auvergne; elle existe également dans les terrains de sédiment, et cependant elle s'arrête dans les formations jurassiques. La célestine, au contraire, paraît appartenir aux dépôts plus récents; elle se trouve surtout assez abondamment avec les dépôts de soufre que nous avons cités en Sicile, § 184, et c'est de là que viennent les beaux groupes qui décorent nos collections. Partout ailleurs elle ne se trouve guère qu'en rognons à structure lamellaire, ou en petites veines fibreuses. Elle existe, et assez abondamment, jusque dans les argiles qui accompagnent la pierre à plâtre de Paris, en rognons compactes ou terreux, ordinairement aplatis, et ressemblant à une petite miche de pain.

Karsténite et Gypse. — *Anhydrite, muriacite, sélénite.*

§ 204. **Caractères.** — Ces deux substances sont l'une et l'autre du sulfate de chaux; mais la première est anhydre, et la seconde hydratée, renfermant 21 pour 100 d'eau. Celle-ci est très tendre et se raie avec facilité par l'ongle; l'autre est plus dure, mais facilement attaquable par une pointe d'acier.

La karsténite, rarement cristallisée, se présente en petits prismes rectangulaires droits, modifiés sur les arêtes ou sur les angles solides, fig. *a*, *b*, *c*, , et clivables parallèlement à leurs pans et à leurs bases. Le gypse, qu'on rencontre souvent en cristaux, fig.



d, *e*, *f*, appartient, au contraire, à un prisme oblique, qui se clive avec beaucoup de facilité parallèlement aux pans latéraux, en feuillets

aussi minces que l'on veut ; les clivages parallèles à la base et aux autres pans sont beaucoup moins nets, et ne se manifestent bien que dans les lames minces, qui se brisent par là en espèces de parallélogrammes obliquangles.

Les cristaux de gypse sont le plus souvent des tables obliquangles biselées sur les arêtes, fig. *d*, *e*, *f*, et modifiés de diverses manières. Ces cristaux sont fréquemment arrondis sur quelques unes de leurs parties ; et il en résulte souvent des formes lenticulaires qui, réunies deux à deux, présentent dans la fracture ce qu'on nomme le *gypse en fer de lance :* disposition très commune dans les carrières de pierre à plâtre des environs de Paris.

Outre les formes cristallines, ces deux substances se présentent en masses laminaires ; et le gypse surtout offre fréquemment alors des plaques d'une belle transparence, qu'on peut diviser et subdiviser à l'infini : elles sont aussi en masses lamellaires, granulaires, compactes, fibreuses.

Gisement. — La karsténite forme quelquefois des masses considérables qui se trouvent particulièrement à la jonction des terrains de cristallisation et des terrains de sédiment Elle disparaît entièrement dans les derniers lorsqu'ils sont éloignés des formations cristallines.

Le gypse est beaucoup plus répandu, et se trouve aussi bien dans l'une des positions que dans l'autre. Par places, on le voit comme intercalé dans les roches de cristallisation, mais il n'y forme guère de couches réglées ; souvent même il se présente sur les flancs des vallées, sur les bords des grands cirques qu'on trouve dans les hautes montagnes, et disparaît dans l'épaisseur du terrain, de sorte que, là où il semblait devoir se continuer, on ne trouve plus que des couches de carbonate de chaux, qui en sont la suite. Il accompagne aussi certains dépôts cristallins (amydaloïde, serpentine, diallage [voy. Géologie]), qui forment des collines allongées dans les terrains calcaires, et autour desquelles, à une distance peu considérable, il n'y a plus encore que du carbonate de chaux.

Du reste, loin des terrains de cristallisation, le gypse est aussi très abondant, et forme des amas plus ou moins considérables à tous les étages de ces dépôts, jusque dans les plus modernes, où il paraît avoir été produit par des sources. Il constitue aux environs de Paris, parallèlement au calcaire grossier, § 160, note, des dépôts qui présentent des caractères de formation fluviale, et autour d'Aix en Provence il s'en trouve encore de plus récents.

Usages. — La karsténite, qui est assez dure, assez solide,

pourrait être quelquefois employée comme marbre; on se sert ainsi à Grenoble d'une variété blanche saccharoïde, qui se conserve bien dans les intérieurs. Une variété légèrement siliceuse, et d'un gris bleuâtre assez agréable, est employée en Italie pour des tables et des cheminées, sous le nom de *marbre de Bergame* ou de *Bardiglio*. On la tire de Vulpino, à 15 lieues de Milan.

Le gypse compacte et blanc, qui se travaille avec une grande facilité, est employé sous le nom d'*albâtre*, *albâtre gypseux*, ou *alabastrite*, pour former des vases, des socles de pendule, des statuettes qu'on voit fréquemment dans nos habitations. Quelques variétés, veinées et ondulées de diverses teintes brunâtres, sont aussi employées de la même manière. C'est de Volterra, en Toscane, qu'on tire cette matière, et c'est généralement en Italie que se fabriquent, à bas prix, tous les ouvrages que nous voyons. Il ne faut pas confondre cet albâtre gypseux avec l'*albâtre calcaire*, beaucoup plus solide, susceptible d'un beau poli, dont les diverses variétés sont beaucoup plus agréables (voyez le Carbonate calcaire). Celui-ci, fort recherché, et travaillé avec soin, est toujours d'un prix assez élevé; l'autre n'a aucune valeur, et pas plus de renommée que de solidité et d'éclat.

Le gypse fibreux, qui est remarquable par l'éclat soyeux qu'il présente, se taille quelquefois en perles dont on fait de charmants colliers; mais il faut les conserver sous verre, le moindre frottement étant susceptible de les détruire.

Le gypse des environs de Paris est une matière extrêmement précieuse par la propriété qu'elle possède de prendre rapidement en masse solide lorsque, après avoir été calcinée et réduite en poudre, on lui rend, par le *gâchage*, l'eau qu'elle avait perdue. Malheureusement cette propriété ne se trouve au même degré dans aucun des autres dépôts de gypse des divers terrains, si ce n'est dans ceux d'Aix en Provence; on l'a attribuée à la présence d'une très petite quantité de carbonate de chaux que les variétés de ces deux localités renferment. Quoi qu'il en soit, c'est à cette pierre que Paris doit, en très grande partie, son extension; on l'exploite avec activité, et on l'exporte même très loin, dans la France et à l'étranger, pour construire au moins les plafonds, qui n'ont aucune solidité avec toute autre variété. Çà et là dans la masse grenue de nos carrières se trouvent des variétés cristallines qu'on nomme *gypse en fer de lance*, *grignard*, *pierre à jésu*, *miroir d'âne*, etc., qui sont recherchées par les modeleurs en plâtre, parce qu'elles donnent une matière plus fine. Mais ce plâtre fin, qu'on n'emploie que pour la couche la plus extérieure des statues,

ne prend que lentement et possède infiniment moins de solidité ; il est précisément de l'espèce qu'on peut obtenir avec les gypses qu'on rencontre partout.

Le gypse, fort utile en agriculture pour les prairies artificielles, est exploité aussi pour cet usage unique, dans les diverses localités où il se trouve.

Alunite, alun, sels d'alumine.

§ 205. **Caractères de l'alunite.** — Le seul sulfate capable de rayer le verre est l'alunite. C'est une substance pierreuse, qu'on trouve quelquefois en très petits rhomboèdres, tapissant les cavités des masses compactes. Elle est infusible au chalumeau, donne de l'eau par calcination, et devient alors en partie soluble dans l'eau, qui produit par l'ammoniaque un précipité floconneux.

Elle est composée d'acide sulfurique, d'alumine, de potasse et d'eau, dans des proportions peu déterminées par suite du mélange dont la masse est susceptible.

Cette matière se trouve en masses compactes assez étendues, quelquefois caverneuses, et présentant çà et là des veines et des rognons où la matière est fibreuse. Partout où on la connaît, elle est dans le voisinage des terrains trachytiques et au milieu des détritus de ponce. C'est ainsi qu'elle se présente à Tolfa dans les États romains, à Piombino sur la côte de Toscane, en Hongrie, dans quelques îles de l'archipel Grec, au Mont-Dore en France. Elle semble placée dans d'anciennes solfatares, et il s'en produit journellement dans les solfatares actives, comme à Pouzzole près de Naples, à la Guadeloupe, par suite de l'action des vapeurs sulfureuses sur les matières environnantes.

L'alunite est une matière précieuse pour la fabrication de l'alun. Il suffit de la calciner, de l'arroser ensuite d'eau pour la réduire en pâte, de lessiver à chaud, et de concentrer les eaux pour faire cristalliser. Le sel ainsi produit, qu'on nomme *alun de Rome*, a été recherché pendant longtemps, jusqu'à ce qu'on l'ait enfin fabriqué de toutes pièces.

§ 206. **Alun.** — Il existe aussi de l'alun tout formé dans la nature : c'est un sel composé de sulfate d'alumine et de sulfate de potasse, ou d'ammoniaque, d'une saveur astringente, soluble immédiatement dans l'eau, qui donne alors, par l'ammoniaque, un précipité floconneux blanc très abondant.

On assure qu'on trouve l'alun potassique en petites couches recouvertes de sable, au milieu des déserts de l'Égypte, où des

caravanes en vont chercher tous les ans. L'alun ammoniacal se trouve en petites veines fibreuses dans les dépôts de lignite de Tschermig en Bohême. Il se forme aussi journellement de l'alun dans les solfatares, dans les houillères embrasées et à la surface de certaines matières schisteuses qu'on nomme *schistes alumineux*. Ces matières sont exploitées dans différents lieux pour la fabrication de ce sel; on se contente de les laisser exposées à l'air, où elles se désagrégent et s'altèrent, et de les lessiver ensuite.

Dans beaucoup de localités, la décomposition des matières pyriteuses, soit qu'elle ait lieu naturellement, soit qu'on la provoque artificiellement, donne lieu à une formation de sulfate d'alumine, auquel il suffit d'ajouter un alcali pour obtenir de l'alun ; mais les sels qu'on obtient alors renferment beaucoup de sulfate de fer, qui les rend impropres à différents usages.

L'alun est un sel employé très fréquemment dans la teinture, et dans la mégisserie pour la préparation des peaux blanches. On s'en sert en médecine comme astringent, et on en imprègne les toiles et les bois qu'on veut rendre difficilement combustibles.

§ 208. **Sels alumineux divers.** — Outre l'alunite et l'alun, on trouve dans la nature le sulfate simple qui entre dans la composition de ce sel; il s'en forme ainsi dans les solfatares et dans certaines matières schisteuses.

Fréquemment aussi il se forme des sulfates alumineux composés, ferrugineux, manganésiens, cuivreux, etc., qui se présentent en petites veines fibreuses ou en efflorescence dans certains schistes, dans des argiles diverses, dans certaines cavernes, dans les anciens travaux des mines. Ce sont ces matières qu'on désigne fréquemment sous le nom d'*alun de plume*, mais qui n'ont de commun avec l'alun que le sulfate d'alumine.

Il existe aussi un sulfate d'alumine insoluble, nommé *webstérite*, qui se trouve en petits rognons blancs, doux au toucher et très tendres, dans les argiles situées au-dessus de la craie.

Sulfates divers.

§ 209. **Sulfates métalliques.** — Il existe un grand nombre d'autres sulfates, dont la plupart se forment journellement dans les gîtes métallifères par la décomposition des sulfures. Tels sont les *sulfates de cobalt*, *de fer*, *de cuivre*, et *de zinc*, qui sont toujours en petites quantités. Ce sont des sels hydratés, qui seraient naturellement isomorphes, mais qui, d'un côté, ne sont pas ordinairement cristallisés dans la nature, étant continuellement remaniés

par les eaux; et, de l'autre, prennent des quantités d'eau variables avec la température, de sorte qu'ils ne sont jamais complétement identiques de formule à une température donnée, § 46.

Le sulfate *pittizite*, à base de peroxyde de fer, ressemble quelquefois complétement à la limonite; il se forme dans quelques mines en assez grande quantité pour qu'on soit obligé de l'enlever; il est tantôt pulvérulent, tantôt stalactitique, quelquefois translucide, brillant dans la cassure, brun, et ressemblant à de la résine.

Il se fait aussi des sels doubles d'un même métal, qui entre alors dans le composé partie à l'état de protoxyde, partie à l'état de peroxyde; c'est ce que présentent surtout les sulfates de fer, comme on le voit dans le tableau de classification.

§ 209. **Sulfates terreux et alcalins.** — Si les sels précédents sont peu importants, il en est quelques autres qui ont un certain degré d'utilité. Tels sont les sulfates de magnésie et de soude.

Le *sulfate de magnésie* ou Epsomite, qu'on nomme aussi *sel amer*, se trouve quelquefois en petites masses fibreuses, soit dans les dépôts salifères, comme à Calatayud en Aragon, soit dans les gîtes métallifères, ou bien en efflorescence, à la surface de certains schistes alumineux. Il se trouve aussi en solution, constituant alors des eaux minérales purgatives qu'on trouve particulièrement à Epsom, dans le comté de Surrey en Angleterre, à Sedlitz et Egra en Bohême.

Le *sulfate de soude anhydre* ou Thénardite, qui crisallise en prismes rhomboïdaux, forme journellement des croûtes cristallines au lieu nommé les *salines d'Espartine*, à cinq lieues de Madrid; on l'exploite pour préparer du carbonate de soude.

Le *sulfate hydraté* se trouve en efflorescence sur les laves du Vésuve et à la solfatare de Pouzzole; on le cite, à la surface du sol, autour de certains lacs de Sibérie, dont les eaux en renferment une assez grande quantité.

2° Groupe des Sélénides.

Corps donnant l'odeur de chou pourri par le grillage dans le tube ouvert, et un sublimé rouge pulvérulent dans le tube fermé.

SÉLÉNIURES.

§ 210. On ne connaît qu'un petit nombre de séléniures, peu abondants, dont trois sont simples, et les autres doubles.

Le *séléniure de plomb*, ou Clausthalie, est gris de plomb, mé-

talloïde, en petites masses lamellaires fragiles, fort analogues à la galène; fusible au chalumeau, il donne sur le charbon un oxyde jaune de plomb et des grains de plomb. Il se trouve au Harz, aux environs de Klausthal, soit dans les dépôts ferrugineux, soit dans la dolomie. Il s'y présente aussi en combinaisons avec des séléniures de cobalt, de mercure et de cuivre.

Le *séléniure d'argent*, autre matière gris de plomb, mais ductile, analogue à l'argyrose, a été observé parmi les minerais de Tasco au Mexique. On y a aussi indiqué un séléniure de zinc.

Le *séléniure de cuivre*, ou Berzeline, est blanc d'argent, et ductile comme le sulfure de même formule. Il se trouve dans la mine de cuivre de Skrickerum en Smoland, en même temps que l'Euchairite, substance gris de plomb, ductile, qui est disséminée dans le calcaire ou les roches magnésiennes.

3° Groupe des Tellurides.

Corps doués de l'éclat métallique, donnant un sublimé gris dans le tube fermé et répandant, par le grillage dans le tube ouvert, une fumée blanche piquante, sans odeur, qui se dépose sur la partie froide du tube sous la forme d'une poudre blanche, fusible en gouttelettes limpides par la chaleur (1).

§ 211. Les substances de ce groupe, peu répandues dans la nature, n'ont été connues pendant longtemps qu'en Transylvanie, dans les mines de Nagy-ag, de Offenbanya et de Zalathna, qui sont des dépôts argentifères et aurifères des terrains trachytiques. On en a trouvé depuis à Sawodinski dans l'Altaï. Il y a peu d'espèces, du moins déterminées avec précision, parce que les matières sont rares à l'état de pureté et à l'état cristallin.

Le *tellure natif* est blanc d'étain ou gris d'acier, fragile, presque entièrement volatil par le grillage, et laissant cependant 7 à 8 pour 100 de résidu qu'on regarde comme à l'état de mélange; on l'a indiqué en petits prismes hexagones, mais rien ne prouve que ces prismes soient du tellure pur: on le voit souvent dans les collections en petites masses lamellaires ou granulaires.

Le *telluriure de plomb* est gris de plomb, en petites masses lamellaires assez analogues à la galène. Le *telluriure d'argent* est en petites masses à gros grains malléables, se coupant facilement, comme le sulfure d'argent.

Les autres espèces paraissent être des combiaisons de ces deux

(1) Il y a souvent un peu de sélénium qui donne son odeur particulière ou sa couleur, mais qui ne se sublime qu'après l'oxyde de tellure.

telluriures, et même du telluriure d'or ; mais elles sont très peu connues. Elles ont des teintes de couleur particulières, et se présentent en petits cristaux peu déterminables, qui paraissent avoir des formes différentes pour chaque composition.

Les variétés argentifères et aurifères sont recueillies pour en extraire les deux métaux précieux ; l'espèce sylvane, qui renferme jusqu'à 70 pour 100 d'or, a même été désignée sous le nom d'*or blanc*, et aussi d'*or graphique*, à cause de sa structure. La mullerine, qui en renferme 26, a été nommée *or gris*.

CLASSE DES CHLORIDES, FLUORIDES, IODIDES, BROMIDES.

§ 212. **Caractères généraux.** — Le chlore, le brome, l'iode, le fluor ont entre eux la plus grande somme possible d'analogies : d'un côté par eux-mêmes sous le rapport de diverses propriétés physiques ; de l'autre par toutes leurs combinaisons, qui se font dans les mêmes proportions, qui ont une foule de propriétés communes, souvent les mêmes caractères extérieurs ; enfin par la facilité de se substituer l'un à l'autre dans les composés. Ils se rapprochent, d'ailleurs, du soufre et du sélénium, qui les lient avec l'arsenic et le phosphore.

Les corps naturels de cette division sont peu nombreux, et la plupart même ne sont que des raretés à peine connues. Les plus abondants, comme aussi les plus importants, sont le salmare (sel marin ou sel commun) et la fluorine, auxquels il faut ajouter la kérargyre, qui, du moins au Pérou, a de l'importance comme minerai d'argent. Nous aurons donc peu à nous occuper des autres.

1° Groupe des Chlorides.

Corps solides pour la plupart (un seul gazeux), solubles ou insolubles dans l'eau.

Solution donnant par l'azotate d'argent un précipité blanc soluble dans l'ammoniaque, et qui se colore à la lumière.

Donnant tous du chlore, reconnaissable à l'odeur, par l'action de l'acide sulfurique sur leur mélange avec le peroxyde de manganèse.

Acide chlohrydrique.

§ 213. Corps gazeux, incolore, d'une odeur piquante, acide, donnant des vapeurs blanches au contact de l'air ; très soluble dans l'eau, à laquelle il communique une forte acidité.

Ce gaz se dégage souvent en grande quantité dans les phénomènes volcaniques, notamment au Vésuve, et se condense avec

les vapeurs aqueuses en formant alors des sources d'acide liquide, quelquefois assez abondantes. On le retrouve dans quelques eaux minérales, et quelquefois il se dégage des dépôts salifères.

Le chlore lui-même imprègne quelquefois les roches poreuses de certains épanchements volcaniques ; par exemple, au Puy Sarcouy en Auvergne.

L'acide chlorydrique est un des acides les plus employés dans la teinture, pour faire *virer* les couleurs, pour composer certains mordants, pour préparer le chlore et les chlorures ; mais c'est toujours par l'art qu'on se le procure alors.

Kérargyre. — *Argent corné.*

§ 214. Substance blanche ou brunâtre, demi-transparente, se coupant au couteau comme de la cire ou de la corne ; attaquable par l'ammoniaque, déposant de l'argent métallique lorsqu'on la frotte sur une lame de fer avec un peu d'eau.

Cette matière, qui renferme 75 pour 100 d'argent, se trouve en petits cristaux qui sont des cubes, ou des octaèdres réguliers, ou en légers enduits à la surface de divers corps; quelquefois elle est en petites masses disséminées, et plus souvent en particules invisibles mélangées dans des matières terreuses ou ferrugineuses, dont on peut l'extraire par l'ammoniaque.

La kérargyre est peu commune dans les mines d'Europe, mais elle existe en grande quantité au Mexique et au Pérou; elle y est mélangée avec des minerais de fer hydraté connus sous les noms de *pacos* et de *colorados*, renfermant aussi de l'argent natif, § 151, et formant des masses d'une très grande richesse à la partie inférieure des terrains de sédiment.

Salmare. — *Sel commun, sel marin, sel gemme.*

§ 215. **Caractères.** — Chacun connaît en gros cette substance; elle cristallise en cubes, qui sont creusés en trémie sur leurs faces lorsque la cristallisation s'est faite rapidement, mais qu'on trouve quelquefois très nets dans la nature, et avec diverses modifications. Elle se présente aussi en masse compacte susceptible de clivage cubique, en masse lamellaire à grandes et à petites lames, en masse granulaire, en masse fibreuse.

Naturellement incolore, cette matière se trouve souvent dans le sein de la terre colorée en gris, en rouge, quelquefois en bleu par

des matières étrangères accidentellement mélangées. La matière rouge est le plus ordinairement de nature organique.

La composition est 40 de sodium et 60 de chlore. L'acide sulfurique en dégage de l'acide chlorydrique, et le liquide restant donne, après l'évaporation, des aiguilles cristallines efflorescentes. Cette dernière circonstance distingue le chlorure de sodium du chlorure de potassium, qui en a tous les autres caractères, mais dont le sulfate ne s'effleurit pas.

Gisement. — Le salmare se présente à nous en dépôts plus ou moins étendus renfermés dans le sein de la terre ; il se trouve aussi en solution dans les eaux de certaines sources, de certains lacs, et dans les eaux des mers.

Les dépôts salifères se trouvent tous dans les terrains de sédiment, depuis les dépôts pénéens où ils paraissent communs jusque dans les terrains tertiaires, § 160, *note*. Ils offrent partout cela de commun qu'ils sont formés en grande partie de matières argileuses, qu'on nomme *argiles salifères*, grisâtres ou rougeâtres, au milieu desquelles le sel est tantôt disséminé, tantôt en nids, en veines ou en amas plus ou moins considérables, avec du sulfate de chaux, dont la quantité est plus ou moins grande. Ces assemblages de matières diverses se présentent comme des masses adventives au milieu du dépôt général qui constitue la formation géologique sédimentaire. Dans certaines localités, ces dépôts particuliers sont immenses, et constituent des montagnes entières où le sel se présente quelquefois à nu, et peut être exploité à ciel ouvert comme les carrières de pierres à bâtir.

Il y a des contrées qui sont extrêmement riches en dépôts salifères; telles sont les deux pentes des Karpathes, d'un côté depuis Cracovie, où l'on trouve les fameuses salines de Williczka et de Bochnia, jusqu'en Moldavie, où l'on remarque surtout les salines d'Okna; de l'autre dans la Hongrie et la Transylvanie, où il en existe aussi de très importantes. Dans toutes ces contrées, le sel lui-même forme des amas immenses qui appartiennent aux terrains tertiaires, comme je l'ai fait voir le premier en 1818. Il y est exploité par blocs, qui, par suite de la pureté de la masse, sont livrés immédiatement au commerce. Le Salzbourg, la Bavière, le Wurtemberg, en renferment aussi des dépôts considérables qui appartiennent aux terrains pénéens; mais le sel est alors disséminé dans le dépôt général, et l'on ne peut plus en extraire de blocs comme dans les localités précédentes; on introduit simplement des eaux dans la mine, et on les sort ensuite au-dehors pour les évaporer et faire cristalliser. Nous n'avons de dépôts de sel exploités que ceux de Vic

et de Dieuze en Lorraine, qui sont situés dans le grès bigarré ; il y a des indices d'amas puissants auprès d'Orthez, dans les Basses-Pyrénées. En Angleterre, on cite surtout les salines de Norwich, en Suisse celles de Bex, en Espagne celles de Cardona, qui appartiennent aussi aux dépôts tertiaires, etc.

Les sources salifères sont très nombreuses, et généralement dans les contrées où se trouvent des dépôts de sel que sans doute les eaux traversent avant d'arriver au jour. Il y en a aussi qui viennent d'une grande profondeur, ce qui est indiqué par leur température élevée.

Toutes ces sources sont exploitées, soit librement, par les habitants de la contrée, soit par des compagnies. Nous en avons un grand nombre en France : à Dieuze, Moyenvic, Château-Salins, etc. Il en existe de même dans un très grand nombre de localités, soit en Europe, soit dans les autres parties du monde.

Les lacs salés sont aussi extrêmement nombreux, et se présentent principalement dans les grandes plaines de nos continents. La Russie d'Asie, la Sibérie, en renferment un grand nombre ; les plaines de l'Afrique sont aussi extrêmement riches en ce genre. Le sol même des contrées où se montrent ces lacs est tout imprégné de sel, et l'on en cite des masses solides, qui se présentent à fleur de terre, dans les lieux où la sécheresse habituelle du climat permet leur conservation.

Il est à remarquer que dans ces lacs, comme dans les eaux des mers, le sel commun se trouve accompagné de chlorure de calcium et de magnésium, de sulfate de soude, etc.

Usages. — Le sel commun est tellement nécessaire à l'homme, qu'on l'exploite avec soin partout où il s'en trouve, et que partout les eaux des mers sont évaporées pour en tirer cette matière importante. Dans les parties favorisées par de riches dépôts, on en donne constamment aux bestiaux, qui en deviennent extrêmement friands, ce qui contribue beaucoup à les entretenir en santé ; on en trouve alors des blocs à la porte de toutes les étables.

Outre la consommation journalière, il y a des contrées où l'on se sert du sel commun pour préparer du sous-carbonate de soude, si nécessaire pour les savonneries et les verreries. On en tire aussi tout l'acide hydrochlorique nécessaire aux arts.

Le sel commun, malgré son peu de valeur lorsqu'on défalque les droits, offre en Europe un produit brut de 150 millions de francs, qui s'accroîtrait énormément si une exemption d'impôt permettait d'en donner aux bestiaux.

Chlorures divers.

§ 216. Citons encore quelques autres matières de ce groupe sur lesquelles il n'est pas inutile d'avoir quelques notions.

Le Calomel se trouve avec le cinabre, en petits enduits et en petits cristaux blanchâtres, qui sont des prismes carrés.

La Kérasine, fort rare, qu'on trouve dans quelques mines de plomb, et qui est en cristaux prismatiques à bases carrées, a cela surtout de remarquable qu'elle nous offre une combinaison de chlorure de plomb avec l'oxyde de ce métal, circonstance dont nous connaissons plusieurs exemples dans les laboratoires.

L'Atakamite est dans le même cas ; c'est un chlorure de cuivre combiné avec l'oxyde de cuivre, et hydraté. Cette matière, d'une belle couleur verte, se trouve au Pérou dans certains gîtes de minerais de cuivre : on la réduit en poudre, et elle est alors employée comme sable à mettre sur l'écriture dans tout le pays.

La Sylvine, ou *sel de Sylvius*, est mélangée en très petites quantité avec le sel commun, dans les mines de Hallein et de Berchtesgaden en Salzbourg.

Les chlorures de calcium et de magnésium, qui sont très déliquescents, se trouvent dans les eaux des mers et celles de certains lacs, auxquelles ils donnent une saveur amère.

Le Salmiac, *sel ammoniac*, se trouve dans quelques houillères embrasées, dans les volcans, à la surface des laves, et dans des espèces de solfatares de l'Asie centrale, où des caravanes viennent l'exploiter en certains temps de l'année.

2° Groupes des Bromides et des Iodides.

§ 217. On a découvert le *bromure d'argent* dans les *pacos* et *colorados* du Pérou et du Mexique, et on l'a reconnu depuis dans des matières semblables à Poullaoen en Bretagne. Il est assez abondant dans les premiers, et en petits cristaux cubiques de couleur verdâtre dans les seconds.

Les eaux-mères des marais salants et de diverses salines du continent renferment divers *bromures*. Privées de sel marin, elles donnent, par l'azotate d'argent, un précipité jaunâtre, qui, par cette couleur, se distingue du chlorure d'argent. On a annoncé du *bromure de zinc* dans les dépôts de calamine de Silésie.

L'*iodure d'argent* a été annoncé autrefois par Vauquelin dans des minerais argentifères qu'on disait être du Mexique ; mais de-

puis peu M. Domeyco l'a retrouvé en masses jaunes-verdâtres composant à lui seul un gîte abondant à Coquimbo au Chili.

On a indiqué des *iodures de zinc* et de *mercure*, le premier en Silésie, le second au Mexique.

Il y a des *iodures de sodium* et de *magnésium* dans les eaux des mers et dans certaines eaux minérales, telles que celles de Voghera, de Sales et de Castel-Novo d'Asti, en Piémont, qui sont connues pour le traitement des maladies scrofuleuses. Les eaux-mères des salines de Schœnbeck, en Magdebourg, celle de Guaca, en Colombie, en renferment également. Toutes ces eaux précipitent par l'azotate d'argent; mais le précipité est insoluble dans l'ammoniaque, ce qui le distingue des chlorures et des bromures.

3° Groupe des Fluorides.

Corps donnant par la fusion avec l'acide phosphorique une vapeur qui corrode le verre du tube dans lequel on fait l'opération.

Fluorine, — *Fluor, spath fluor, chaux fluatée.*

§ 218. **Caractères.** — Substance offrant souvent des couleurs vives, cristallisant dans le système cubique; se clivant en tétraèdres ou en octaèdres réguliers; rayée par le verre; donnant généralement une phosphorescence très marquée par l'action de la chaleur.

Fusible au chalumeau; attaquable par les acides, et surtout l'acide sulfurique, qui la décompose; solution subséquente précipitant abondamment par les oxalates et non par l'ammoniaque.

La fluorine, souvent cristallisée, affecte presque toutes les formes du système cubique, si ce n'est le tétraèdre, qu'on n'obtient que par clivage. Souvent aussi elle se trouve en masse lamellaire ou bacillaire, quelquefois compacte, et enfin à l'état terreux. Rarement incolore, elle offre le plus souvent des couleurs vives, jaune, vert, rose, violet, plus ou moins foncées, souvent réunies par bandes et par zones sur le même morceau.

Gisement, usage. — Cette substance, assez commune, est en général subordonnée aux gîtes métallifères, surtout à ceux de minerais de plomb; mais elle forme aussi des filons à elle seule, tant dans les terrains granitiques que dans les dépôts de sédiment qui en sont voisins.

Les variétés à couleurs vives, disposées en zones, en zigzag, ou entremêlées agréablement, sont employées pour faire des vases, des coupes, une multitude d'objets de fantaisie, d'un très

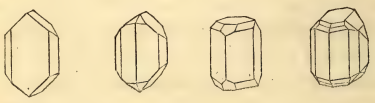
bel effet, et souvent d'un prix très élevé : c'était la substance des *vases Murrhins*, si célèbres dans l'antiquité. Aujourd'hui la plupart de ces objets se fabriquent en Angleterre; en France, on a quelquefois employé, sous le nom de *prime d'émeraude*, des variétés verdâtres entremêlées par couches en zigzag avec du quarz, pour des incrustations qui ne sont pas sans agrément.

C'est avec la fluorine qu'on prépare l'acide fluorhydrique, dont on se sert pour la gravure sur verre comme de l'eau-forte pour la gravure sur cuivre. On couvre le verre d'une légère couche de cire, puis on dessine, avec une pointe, les objets qu'on veut graver, et on expose la plaque à la vapeur de l'acide, qu'on dégage par un mélange de fluorine en poudre et d'acide sulfurique.

§ 219. Il existe des *fluorures de cérium* et d'*yttria* qui se trouvent en très petits nids dans les pegmatites de Brodbo et de Finbo en Suède. On connaît aussi une substance blanche, la *cryolite*, clivable en prismes rectangulaires, qui se fond avec une grande facilité au chalumeau, et qui est un double composé de fluorure d'aluminium et de sodium. Elle se trouve au Groënland, en filons, dans des roches de cristallisation.

Topaze.

§ 220. Substance vitreuse, rayant le quarz, cristallisant en prismes rhomboïdaux, clivables perpendiculairement à l'axe. Infusible au chalumeau, attaquable par les acides après la fusion avec le sel de soude; solution donnant un précipité floconneux par l'ammoniaque.



La topaze, presque toujours cristallisée, offre des prismes rhomboïdaux diversement modifiés, comme dans les figures ci-jointes, qu'on trouve souvent roulés et brisés dans les ruisseaux de diverses contrées, ou même réduits en cailloux arrondis, qu'on distingue des cailloux de quarz par le clivage dont ils sont susceptibles. Quelquefois les cristaux sont assez gros, et quand ils sont empâtés dans la roche, il arrive qu'en se brisant ils offrent des masses laminaires qui sont alors blanchâtres et plus ou moins opaques. Ailleurs ils sont au contraire très petits, entassés les uns sur les autres, et produisent de petites masses granulaires.

Le plus ordinairement la topaze est jaunâtre ; mais on la trouve aussi limpide, ou bien rosâtre et bleuâtre.

Cette substance appartient essentiellement aux terrains de cristallisation ; elle en tapisse les fissures, ou bien s'y trouve disséminée, et surtout dans les pegmatites ; elle existe aussi dans quelques amas métallifères, et particulièrement dans ceux d'étain. Elle est souvent abondante dans les terrains d'alluvion, comme au Brésil, où elle se trouve avec beaucoup d'autres substances.

On sait que la topaze est employée dans la joaillerie ; c'est du Brésil que les pierres nous arrivent aujourd'hui toutes taillées, et il n'y a plus qu'à les choisir, les assortir pour les parures. On nomme *topazes brûlées* des variétés de couleur rosâtre, qu'on obtient le plus souvent en soumettant quelques variétés de couleur jaune à l'action de la chaleur.

§ 221. On nomme Picnite une substance pierreuse, en masses bacillaires, des mines d'étain d'Altenberg en Saxe, qui renferme aussi de la silice, du fluor et de l'alumine, mais dont les proportions diffèrent de celles de la topaze. Il est difficile aujourd'hui de se prononcer sur cette matière, d'autant plus que la topaze, même bien cristallisée, est assez variable sous ce rapport, et qu'on ignore complétement le rôle du fluor dans ces composés.

HYDROGÉNIDES, AZOTIDES.

§ 222. — L'hydrogène et l'azote sont des corps qu'on ne sait trop où placer dans la série des corps simples. Ils ont quelque analogie d'un côté avec le carbone, de l'autre avec le soufre et le phosphore, ce qui conduit à les placer entre ces substances.

Nous avons peu de matières naturelles dans ce groupe, mais celles qui existent jouent un rôle assez important pour ne pas les passer sous silence. Dans les hydrogénides nous avons l'hydrogène et l'eau ; dans les azotides, l'azote, l'air atmosphérique, et quelques azotates, dont le salpêtre est le plus important.

Hydrogène.

§ 223. — Corps gazeux, incolore, inodore, très léger, combustible, et donnant de l'eau pour résultat de la combustion.

L'hydrogène, qui est rare à l'état libre, paraît se dégager quelquefois par les crevasses qui se manifestent pendant les tremblements de terre : c'est peut-être là l'origine des flammes qu'on a

quelquefois indiquées dans ces grandes catastrophes. Il s'en dégage quelquefois en abondance pendant les éruptions volcaniques, qui se trouve presque aussitôt brûlé par suite de l'élévation de température. Il est toujours mêlé aux vapeurs de naphte et à l'hydrogène carboné qui se dégage des salzes, § 242.

Eau.

§ 224. **Glace, glaciers, glacières.** — L'eau se trouve dans la nature à l'état solide, à l'état liquide, ou à l'état gazeux.

A l'état solide, elle cristallise dans le système rhomboédrique; ce qu'on observe en parcourant les hautes montagnes pendant l'hiver. Elle donne alors la double réfraction attractive, qui, comme on sait (§ 95), n'est encore connue que dans peu de substances. Elle forme à cet état les glaces perpétuelles des pôles au niveau même des mers, et au sommet des montagnes les neiges éternelles, qui commencent à différentes hauteurs, suivant la latitude. L'observation donne à cet égard les résultats suivants.

Vers 70° de latitude la limite inférieure des neiges perpétuelles est à environ	1050 mètres.
Vers 60° à	1500
Vers 45° à	2550
Vers 20° à	4600
Vers l'équateur à	4800

Ces neiges éternelles, ou amas de grésil, constituent ce qu'on nomme les *glaciers*, dont il faut distinguer deux espèces : ceux qui commencent aux limites indiquées, et qui sont à peu près invariables; et ceux qui résultent des neiges qui tombent en certain temps dans les vallées plus basses, ou des *avalanches*, qui viennent des premiers. Ceux-ci, qui se consolident par l'infiltration journalière des eaux provenant de la fusion de quelques unes de leurs parties, et qui se meuvent constamment sur la pente du terrain, descendent même à 1000 mètres au-dessus des mers dans nos climats, au milieu des prairies et des terres labourables de nos montagnes. Leur masse est très variable, tantôt augmentant, tantôt diminuant, suivant le degré de chaleur et la durée des étés; quelquefois elle diminue pendant plusieurs années de suite, puis augmente de même pendant quelques autres. Ce sont ces glaciers accidentels qu'on a le plus souvent visités, et qui offrent les circonstances les plus remarquables. La neige agglutinée y forme des dépôts dont l'épaisseur est quelquefois de 8 à 900 mètres, qui sont tra-

versés irrégulièrement par des crevasses profondes, et percés de puits dans lesquels s'engouffrent de petits ruisseaux provenant de la fonte journalière de la surface. Des glaçons taillés en pyramides aiguës, en espèces de crêtes percées à jour, toutes prêtes à s'écrouler, en hérissent de toutes parts la surface et arrêtent à chaque pas le voyageur attiré par la curiosité : ce sont les plus grands, les plus effroyables spectacles de la nature. On a quelquefois comparé ces glaciers à une mer agitée par la plus violente tempête, et qui tout-à-coup se serait congelée pendant que ses lames écumantes semblaient menacer la terre d'un bouleversement universel. Quelquefois cependant la surface est plus unie, et avec quelques précautions on peut y voyager en toute sécurité.

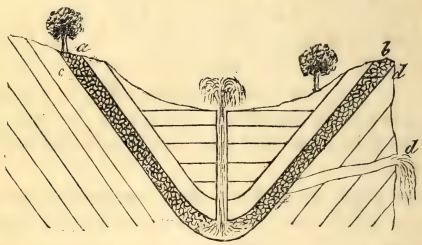
Dans nos climats, c'est au milieu des Alpes qu'on peut voir surtout les glaciers, soit autour du Mont-Blanc, où l'on remarque particulièrement le glacier des Bois, ou *mer de glace*, qui a cinq lieues de long sur une de large; soit au Saint-Gothard, où l'on trouve le glacier du Rhône, qui est un des plus remarquables, et d'où le fleuve sort déjà avec une grande force d'une voûte immense de glace.

Il se trouve aussi de la glace dans certaines cavernes, qu'on nomme à cause de cela des *glacières naturelles;* elle y est produite par l'évaporation rapide occasionnée par les courants d'air sur les eaux qui suintent dans ces cavités, et dont une partie dès lors se solidifie. Il se trouve de ces glacières naturelles dans les montagnes du Jura et principalement près de l'abbaye de Grâce-Dieu, à six lieues à l'est de Besançon.

§ 225. **Eau liquide, puits absorbants et artésiens.** — Outre les mers qui enveloppent nos continents, les lacs qui existent partout et jusqu'au sommet des montagnes, les ruisseaux et les rivières qui sillonnent la surface de la terre, l'eau se trouve en amas plus ou moins considérables dans l'intérieur même du globe, et forme des rivières souterraines dont le courant même est quelquefois très rapide. D'un côté, on voit quelquefois les eaux sortir en abondance du sein même des roches, comme à la source du Loiret, à celle de l'Orbe, à ce qu'on nomme la fontaine de Vaucluse, la fontaine de Nîmes, etc., ce qui annonce des courants intérieurs plus ou moins longs; d'un autre côté les sondages qu'on a faits en tant de lieux différents pour les puits artésiens ont fait découvrir, à diverses profondeurs, des courants rapides, qui ont donné l'idée d'amener au trou de sonde les eaux dont on voulait se débarrasser : de là l'origine des *puits absorbants*, qui ne sont pas moins précieux pour certaines contrées que les puits artésiens eux-mêmes.

On nomme *puits artésiens*, parce qu'ils sont depuis longtemps en usage en Artois, des trous de sonde verticaux au moyen desquels, en certains lieux, les eaux situées à la profondeur remontent jusqu'à la surface, et quelquefois même y jaillissent à de grandes hauteurs.

La condition essentielle pour obtenir un puits artésien est la présence d'une couche graveleuse relevée suffisamment de toutes parts, aboutissant au jour à une distance assez grande, et comprise entre deux couches imperméables dont on perce la supérieure. Il est clair qu'une telle couche, se présentant à la surface du sol, en *a* et *b*, par exemple, absorbera continuellement les eaux plu-



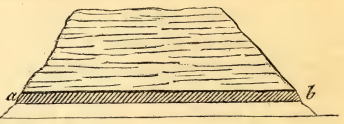
viales par tout son pourtour, qui peut être quelquefois très grand, et se remplira dès lors entre les deux couches imperméables jusqu'à un certain niveau *c d;* si on vient alors à percer tous les dépôts qui recouvrent la couche aquifère, l'eau jaillira par le trou et s'élèvera au-dehors jusqu'au niveau qu'elle atteint dans cette espèce de vase naturel. L'écoulement se continuera à la même hauteur s'il y a absorption suffisante au pourtour extérieur de la couche, et mieux encore, si en quelques points, *a*, *b*, etc., de ses affleurements il passe quelque rivière qui puisse fournir constamment. C'est ainsi que la Creuse et la Vienne fournissent probablement aux puits artésiens de Tours, comme l'Yonne, l'Armanson, la Haute-Seine, l'Aube, la Haute-Marne et ses affluents, l'Aisne, etc., en roulant sur les grès verts qui nous entourent, fournissent au puits de Grenelle à Paris.

Il est clair que ce qu'on fait ici artificiellement peut avoir lieu dans la nature par des fentes, soit dans le terrain qui recouvre la couche aquifère, soit dans celui qui la supporte, comme de *f* en *d*, par exemple; et de là l'explication de la source du Loiret, des fontaines de Vaucluse, de Nîmes, etc., des puits passagers qui débordent en certains moments dans le Jura; toutes circonstances

qui peuvent se lier à la disparition des eaux de pluie et des ruisseaux dans les sables de certaines contrées.

Les puits artésiens ramènent à la surface de la terre des eaux qui seraient complétement perdues pour diverses localités, et qui nous offrent alors de grandes ressources. On a proposé d'augmenter ainsi la masse des eaux de certains ruisseaux, ce qui offrirait souvent un avantage immense; on a même pensé qu'il serait possible de rendre à la culture certaines parties des déserts de l'Égypte, en amenant ainsi des eaux à la surface du sol.

§ 226. **Sources ordinaires et thermales.** — Les sources ordinaires résultent en général de la filtration des eaux pluviales à travers le terrain jusqu'à une profondeur peu considérable, où elles sont arrêtées par des couches imperméables comme *ab*, sur lesquelles elles glissent jusqu'au-dehors. Ces sources offrent en général des eaux assez pures, ou qui ne renferment que des matières que l'on connaît dans le terrain qu'elles ont traversé; elles sont ordinairement à la température moyenne de la contrée. Mais il y a d'autres sources qui présentent des caractères différents, dont les eaux sont chargées de matières étrangères aux terrains dont elles sortent, ou qui sont a une température plus ou moins élevée : ce sont celles qu'on nomme *sources minérales* et *sources thermales*. Ces dernières ont de tout temps attiré l'attention, et on en a souvent cherché l'explication, soit dans la décomposition des pyrites, soit dans la proximité des volcans. Aujourd'hui l'accroissement reconnu de la température à mesure qu'on descend dans l'intérieur de la terre, qui est d'environ 1° par 30 mètres au-dessous du point de température moyenne, fait naturellement conclure que la chaleur des eaux thermales tient à ce qu'elles sortent, comme celles des puits artésiens, d'une profondeur plus ou moins considérable, et qu'on peut même calculer dans chaque lieu (1).



On conçoit qu'à ces profondeurs, et à une température convenable, les eaux puissent agir sur les roches, et en extraire certains sels qui les distinguent des eaux de sources produites par les filtrations superficielles.

Les eaux minérales sont assez variées par la nature des principes qu'elles renferment, et se présentent dans un grand nombre

(1) Il n'a fallu percer que 548 mètres au milieu de la plaine de Paris pour avoir un puits artésien dont l'eau est constamment à la température de 27°.

de localités, où elles sont plus ou moins renommées sous le rapport médical. Les eaux chaudes sont également assez communes ; mais celles dont la température arrive jusqu'à l'ébullition sont rares, et l'on ne connaît en France que les eaux de Chaudes-Aigues et de Vic, dans le Cantal, qui soient dans ce cas : il y a même fort peu d'autres localités connues à la surface du globe.

§ 227. **Eau en vapeur.** — L'air atmosphérique est constamment mélangé de vapeur d'eau, qui tantôt y reste à l'état invisible, tantôt se condense en gouttelettes fines qui s'interposent dans l'air et constituent alors les brouillards et les nuages. Il se fait aussi, par les fissures des roches, tant dans les volcans et les solfatares qu'à travers certains terrains calcaires, des éruptions de vapeur à 100° qui s'élèvent en colonnes blanches quelquefois très hautes, en produisant dans quelques cas un bruit assez fort, comme si elles sortaient d'une chaudière à vapeur. C'est le phénomène des *fumarolles*, ou *soufflards*, qui ne présente nulle part une plus grande intensité qu'en Toscane à travers les collines calcaires de Monte-Cerboli, Castel-Nuovo et Monte-Rotondo.

§ 228. **Eau combinée.** — A l'état de combinaison, l'eau se trouve dans un grand nombre de corps naturels, que l'on nomme à cause de cela des *hydrates*. La limonite et le gypse en sont des exemples importants dans les corps que nous avons étudiés, et ce sont eux probablement qui en présentent la plus grande quantité ainsi fixée à la surface du globe.

Azote et Azotates.

§ 229. — L'*azote* est un corps gazeux, incolore, inodore, n'entretenant ni la combustion ni la vie, incombustible, insoluble dans l'eau. Il se dégage quelquefois des fentes de la terre pendant les phénomènes volcaniques ou les secousses de tremblement de terre, et c'est à cela qu'on attribue l'asphyxie des animaux qui a lieu quelquefois dans ces grandes convulsions de la nature.

Le mélange de l'azote avec l'oxigène dans la proportion de 78 à 22 constitue l'air atmosphérique. C'est par la combinaison de ces deux gaz et dans la proportion de 26 à 74 que se forme l'acide azotique, qu'on trouve combiné naturellement avec la potasse, la soude, la chaux et la magnésie.

L'*azote de potasse*, ou Salpêtre, susceptible de cristalliser en prismes rhomboïdaux, se trouve en efflorescence dans un grand nombre de lieux, surtout au milieu des grandes plaines de nos continents : comme en Hongrie, dans l'Ukraine et la Podolie, dans

les plaines de la mer Caspienne, en Perse, en Arabie, dans les déserts de l'Égypte, et aussi dans diverses cavernes des terrains calcaires et des dépôts feldspathiques. Il paraît dû, presque partout, à une formation journalière; mais il est difficile d'en assigner la cause. Sur les murailles de nos écuries, et autour de nos habitations, on en trouve l'origine dans la décomposition des matières animales qui fournissent l'azote; mais dans les cavernes naturelles, dans les plaines sableuses et les déserts, l'explication ne peut plus suffire, et c'est dans l'air même qu'il faut chercher l'azote. Ce que l'on sait, c'est qu'il est nécessaire, pour cette formation, du contact de l'air avec des matières poreuses calcarifères, et du concours de l'humidité.

Le salpêtre est récolté partout où il se trouve sous la main des hommes, et la plus grande partie est employée pour la fabrication de la poudre à canon. On le fabrique souvent au moyen des vieux plâtras des écuries et des caves qui renferment quelquefois beaucoup d'azotate de chaux, qu'on décompose par le carbonate de potasse; mais le sel qu'on obtient ainsi revient beaucoup plus cher que celui qu'on pourrait se procurer par la voie du commerce, en le tirant des contrées où il est naturellement tout formé.

L'*azotate de soude*, nommé aussi *nitre cubique*, parce qu'il cristallise en rhomboèdres qu'on a pris dans le principe pour des cubes, se trouve dans la nature en couches de deux à trois pieds d'épaisseur, présentant la structure granulaire, dans les environs de la baie d'Yquique, au Pérou, sur une étendue de plus de quarante lieues, dans les districts de Tarapaca et d'Atakama; il est quelquefois à nu, ou seulement recouvert par une couche d'argile ou de sable. On l'exploite en grande quantité, et il sert aujourd'hui pour la préparation de l'acide azotique, et comme intermédiaire dans la fabrication de l'acide sulfurique; il présente beaucoup d'inconvénients pour la préparation de la poudre, parce qu'il est un peu plus déliquescent que l'azotate de potasse.

GROUPE DES CARBONIDES.

Corps solides, liquides ou gazeux : les uns combustibles et donnant alors de l'acide carbonique, d'autres attaquables par les acides et dégageant avec effervescence du gaz acide carbonique; un autre enfin à l'état même d'acide carbonique gazeux, ou dissous dans l'eau.

§ 230. Les corps renfermés dans ce groupe sont le carbone et un assez grand nombre de combinaisons mal définies de carbone avec

l'hydrogène et l'oxygène, quelques carbures, enfin l'acide carbonique libre et des carbonates.

Nous ne trouvons le carbone pur que dans le diamant ou le graphite, qui ne diffèrent que par le mode d'agrégation moléculaire et sont les seules espèces charbonneuses définies. Les combinaisons de carbone, avec l'hydrogène et l'oxygène, constituent les matières qu'on désigne vulgairement sous le nom de *charbon de terre*, et celles qu'on appelle *bitume*. Ces matières proviennent d'une accumulation de débris végétaux, qui ont subi diverses modifications en vertu desquelles il s'est formé des combinaisons particulières de leurs éléments (1). Elles ne peuvent, du moins actuellement, former en aucune manière des espèces minéralogiques distinctes ; mais, vu leur importance dans les arts, nous devons les décrire, à la suite du diamant, sous les noms par lesquels elles sont habituellement connues.

Le peu de carbures que nous connaissons dans le règne minéral sont des carbures d'hydrogène; l'un d'eux, par le rôle qu'il joue, est important à connaître, et les autres semblent nous donner la clef par laquelle nous arriverons à classer les matières bitumineuses et les charbons de terre.

Les carbonates nous présenteront des observations importantes d'analogies ; l'un d'eux mérite toute notre attention, à cause de son abondance dans les terrains de sédiment, et un autre comme minerai de fer riche et facile à traiter.

Carbone, Combustibles charbonneux, et Carbures.

Diamant.

§ 231. **Caractères.** — Corps vitreux, doué d'un éclat particulier ; très dur, et rayant tous les corps sans être rayé par aucun ; toujours en cristaux dont les faces sont le plus souvent arrondies. Clivages faciles, parallèlement aux faces de l'octaèdre régulier, et donnant beaucoup de fragilité à la matière; poids spécifique, 3, 52. Se dépolissant facilement au feu d'oxydation ; fusant au feu, aussi bien que toutes les matières charbonneuses, lorsque, réduit en poudre, il est mêlé avec du salpêtre.

La limpidité parfaite est rare ; le plus souvent elle est salie par

(1) Il résulte de diverses expériences que nous avons commencées, et que les circonstances ne nous ont pas permis de finir, que les végétaux exposés à des températures comprises entre 100 et 200 degrés, sous des pressions convenables, se changent en matières tout-à-fait analogues au lignite, à la houille et au bitume.

des teintes jaunâtres ou brunâtres. Rarement aussi on trouve des couleurs bien décidées et vives. Il y a des diamants noirs et complétement opaques qui ont néanmoins un éclat extraordinaire quand ils sont polis.

Gisement. — On a trouvé au Brésil le diamant disséminé dans les roches micacées nommées itacolumite, § 149, ainsi que dans les grès supérieurs, qui y passent par toutes les nuances, où il a été même exploité pendant quelque temps. Néanmoins, depuis la découverte, on l'a recueilli dans les alluvions formées aux dépens de ces premiers dépôts, où se trouvent en même temps l'or et le platine, avec des débris de fer oligiste et magnétique, de rutil, de zircon, et divers autres silicates en cristaux roulés qui proviennent de l'itacolumite. A Bornéo, on a reconnu cette substance dans des débris de serpentine où se trouve aussi de l'or et du platine. Dans l'Inde, c'est dans des espèces de grès qu'elle se rencontre ; et en Sibérie elle paraît provenir des dolomies carbonifères.

Le diamant se trouve toujours disséminé en petite quantité dans ces dépôts, et presque toujours enveloppé d'une couche terreuse qui y adhère avec plus ou moins de force, et empêche de le reconnaître avant qu'il ait été lavé : aussi procède-t-on à sa recherche par un lavage à grande eau, capable d'entraîner les parties terreuses ; on enlève les cailloux grossiers, puis on cherche dans le résidu.

On ne connaît le diamant que dans un petit nombre de localités. C'est aux Indes, dans le Dekan, et particulièrement dans les vallées du Pannar et de la Krichna qu'on l'a d'abord connu. Il existe également à l'île de Bornéo ; on l'a trouvé au Brésil au commencement du XVIIIe siècle, et en 1829 en Sibérie.

Quantité et valeur. — La quantité de diamants fournie annuellement au commerce par le Brésil, qui depuis la découverte en a eu à peu près seul le privilége, ne s'élève pas à plus de 6 ou 7 kilog., qui ont coûté plus d'un million de frais d'exploitation : aussi cette matière, même à l'état brut, est-elle toujours fort chère. Les diamants défectueux, reconnus pour ne pouvoir pas être taillés, se vendent déjà moyennement à raison de 156 fr. le gramme (1) (45 fois la valeur de l'or), soit pour faire la poussière de diamant, ou *égrisée*, dont on se sert pour tailler et polir les autres, soit pour garnir les outils avec lesquels on grave les pierres fines, ou enfin pour couper le verre. Les très petits dia-

(1) Depuis longtemps on a l'habitude, dans la vente du diamant, de prendre pour unité un poids, qu'on nomme *karat*, qui équivaut à 212 milligrammes.

mants, susceptibles d'être taillés, valent en lots jusqu'à 230 fr. le gramme; mais à peine pèsent-ils chacun 50 milligrammes, que le prix augmente considérablement, et que pour les poids au-dessus la progression est très rapide : à 1/2 gramme, un diamant brut vaut 260 à 280 fr.; à 1 gramme il vaut plus de 1 000 fr. On conçoit que le diamant taillé soit beaucoup plus cher; car d'un côté il a coûté du temps et a perdu de son poids, et de l'autre on a pu apercevoir alors beaucoup de défauts qui en font rejeter un grand nombre. Un diamant taillé de 1 gramme qui est déjà une belle pierre, et de la grosseur ci-contre vaut à peu près 3 500.

Plus les diamants sont volumineux, plus ils sont rares, et aussi plus leur prix est proportionnellement élevé. On n'en connaît que quelques uns dont le poids soit au-dessus de 20 grammes. Les plus gros diamants connus sont :

Celui d'Agrah, pesant environ.	133 grammes.
Celui du radjah de Mattan à Bornéo.	78
Celui de l'ancien empereur du Mogol.	63
Celui de l'empereur de Russie.	41
Celui de l'empereur d'Autriche..	29,53
Celui du roi de France (qu'on nomme le *Régent*).	28,89

Les cinq premiers sont de mauvaise forme. Le dernier est parfait sous tous les rapports ; il pesait, avant la taille, 87 grammes, et a coûté deux années de travail ; il a été acheté dans le principe pour 2 250 000 fr., et il est estimé plus du double.

Ces beaux diamants viennent de l'Inde ou de Bornéo. Le plus gros qu'on ait trouvé au Brésil, et qui conserve la forme naturelle octaèdre, pèse 25^{gr},52 suivant les plus fortes estimations; il appartient au Portugal.

Dans l'Inde, on taille le diamant de manière à lui conserver tout son volume. En Europe, on sacrifie beaucoup du volume de la pierre pour enlever un défaut et se procurer une belle forme. Les formes admises sont la *rose*, fig. *a*, pour les pierres de peu d'épaisseur qu'on ne veut pas trop diminuer, et le *brillant*, fig. *b*, et *c*, pour les pierres épaisses, qu'on monte alors entièrement à jour.

a *b* *c*

On sait combien le diamant est recherché pour la joaillerie, tant par sa rareté que par son éclat et les jeux de lumière qu'il produit, surtout aux bougies. On imite cette dernière propriété

par des verres chargés d'oxyde de plomb, et qu'on désigne sous le nom de *strass* : il en est dont la perfection est telle, que l'œil le plus habile y peut être trompé si le toucher ne vient à son secours On recherche en général les diamants limpides ; la moindre teinte leur ôte du prix, et ce n'est qu'avec des couleurs vives, surtout le rose, le bleu et le vert, qu'il reprend sa valeur ordinaire, ou même un peu plus, à cause de la rareté.

Graphite. — *Plombagine.*

§ 232. Matière gris de plomb, ou gris de fer, douée de l'éclat métallique, douce au toucher, et tachant les doigts ; rayée par tous les corps quand elle est pure ; fusant avec le salpêtre, brûlant très difficilement au feu d'oxydation du chalumeau, ne donnant aucune matière volatile à la distillation, aucune trace d'hydrogène dans sa composition ; poids spécifique, 2,45.

Le graphite se trouve ou dans les terrains de cristallisation, ou dans les dépôts de sédiment voisins. Il est quelquefois disséminé dans les premiers en petits nids ou en lamelles ; mais il forme aussi dans les uns et les autres des amas et des filons. Souvent il est mélangé avec les schistes argileux, auxquels il donne une couleur noire, un éclat métalloïde, et la propriété de tacher.

Il en existe dans un grand nombre de lieux ; mais le plus beau gisement connu, tant par l'étendue du dépôt que par la pureté, l'homogénéité, la compacité de la matière, est celui de Borrodale en Cumberland. Viennent ensuite les gîtes de Passau en Bavière, où le graphite est souvent très pur, mais à texture lâche et grossière.

Le graphite s'emploie principalement pour la fabrication des crayons dits de mine de plomb. Les belles variétés d'Angleterre, par leur compacité, l'adhésion mutuelle des particules, sont jusqu'ici les seules qu'on puisse employer pour les crayons fins : il suffit de les diviser en petites baguettes qu'on enchâsse dans du bois. Mais ces crayons simples sont rares et toujours fort chers ; tous les autres sont composés avec du graphite réduit en poudre, et mêlé avec des matières propres à l'agglutination ; il en est encore de bons quand on a employé du graphite bien pur. Les crayons les plus communs renferment des matières étrangères, et souvent du sulfure d'antimoine. Après les crayons anglais fabriqués avec la mine pure, les meilleurs sont ceux de Passau, dont quelques uns sont faits de la même manière, mais manquent souvent de ténacité.

On emploie aussi le graphite pour adoucir le frottement des machines en bois ; on en enduit le fer pour le préserver de la rouille, et on en fait des creusets, dits *creusets de mine de plomb*, qui sont très réfractaires.

Anthracite. — *Houille éclatante.*

§ 273. Matière noire, le plus souvent brillante, sèche au toucher, brûlant avec difficulté sous l'action du chalumeau, sans flamme ni fumée, et se couvrant d'un léger enduit de cendre blanche ; poids spécifique, 1,4.

Elle ne donne presque rien à la distillation, et les fragments ne subissent aucun changement. A la calcination en plein air, elle devient friable, sans changer de forme, et perd alors 5 à 10 pour 100 de matière volatile. Sa composition ne présente que 2 à 3 d'hydrogène et autant d'oxygène. Les cendres sont quelquefois à peu près nulles, et ne s'élèvent pas à plus de 5 à 6 pour 100.

L'anthracite, tantôt compacte, tantôt feuilletée, et quelquefois granulaire, se présente en masses et en couches dans les terrains de sédiment, mais particulièrement dans ceux qui sont rapprochés des terrains de cristallisation, ou enclavés au milieu d'eux. Elle appartient surtout aux terrains devoniens, § 160, note, quoiqu'on en rencontre aussi au milieu des Alpes, dans des terrains beaucoup plus modernes. Les dépôts se composent de lits alternatifs de matières arénacées ou schisteuses, et de combustibles. Les schistes renferment des débris végétaux ordinairement peu caractérisés, qui appartiennent à la famille des fougères et à celle des équisétacés.

Les gîtes les plus considérables que nous ayons en France sont ceux des bords de la Loire, entre Angers et Nantes, qui se prolongent dans l'Ille-et-Vilaine, et qu'on retrouve dans la Mayenne et dans la Sarthe. Il s'en trouve aussi dans les montagnes de Tarare, qui pourraient être d'une grande ressource dans cette position.

Cette matière charbonneuse peut être employée comme combustible, et produit une chaleur très intense ; mais elle est souvent difficile à allumer, et exige, pour la combustion, des fourneaux où il puisse passer une grande quantité d'air. On l'a employée avec succès dans les fonderies, et elle est très avantageuse dans toutes les opérations qui exigent une haute température ; mais elle ne peut servir que dans les travaux en grand, car elle ne brûle qu'autant qu'elle est en grande masse, et on ne peut parvenir à en

allumer une petite quantité ; si même on en tire un morceau du brasier le plus ardent, il s'éteint à l'instant.

Un inconvénient fréquent de l'anthracite est de se briser au feu en petits fragments qui, en se tassant les uns sur les autres, interceptent trop le passage de l'air. Il n'est plus possible alors de les faire brûler, et il faut en débarrasser le fourneau.

Houille. — *Charbon de pierre, charbon de terre.*

§ 234. **Caractères.** — Substance noire, plus ou moins brillante, s'allumant et brûlant avec facilité au chalumeau, avec flamme, fumée noire et odeur bitumineuse.

Donnant à la distillation des matières bitumineuses, de l'eau, des gaz, fréquemment de l'ammoniaque, et laissant pour résidu un charbon poreux, le plus souvent brillant, où les fragments sont soudés entre eux, et qui souvent a pris plus ou moins parfaitement la forme du vase.

A la calcination en plein air pendant quelques minutes, il se dégage de 20 à 40 pour 100 de matières volatiles.

Ces combustibles sont formés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, dans des proportions qui sont assez variables, avec une légère quantité d'azote. Les variétés pures de mélanges terreux ne donnent pas plus de 2 à 4 pour 100 de cendres.

Les houilles ont des propriétés très différentes, suivant les quantités relatives d'hydrogène et d'oxygène qu'elles renferment ; par là se trouvent très bien caractérisées les diverses variétés que l'industrie a depuis longtemps distinguées, savoir :

La *houille forte* ou des *hauts fourneaux*, qui renferme à peu près 5 pour 100 d'hydrogène et un peu moins d'oxygène, qui perd 20 à 25 pour 100 de matières volatiles par une calcination de quelques minutes à l'air libre (1), et donne un charbon dur, plutôt poreux que boursouflé, d'un éclat métalloïde. Elle est excellente pour les travaux qui demandent un feu vif et soutenu.

La *houille maréchale*, dont les fragments s'agglutinent fortement et se fondent ensemble par la combustion, renferme encore à peu près 5 d'hydrogène, mais un peu plus d'oxygène. Elle perd de 25 à 30 pour 100 par la calcination, et laisse pour résidu un charbon très boursouflé.

---

(1) M. Regnault (*Annales des Mines*, 1837), à qui nous empruntons les données de composition, calcine la matière réduite en petits fragments pendant 7 à 8 minutes dans un creuset de platine. C'est un excellent essai pratique pour juger de la qualité de la houille.

La *houille des foyers, à longue flamme*, où l'augmentation de l'hydrogène est peu de chose, renferme déjà 7 à 9 pour 100 d'oxygène; elle perd au moins 30 pour 100 à la calcination, et donne pour résidu un charbon poreux, où les fragments, quoique bien soudés, sont distincts les uns des autres. Elle convient au chauffage domestique, à la fabrication du gaz, et pour la grille dans les opérations qui demandent un bon coup de feu.

La *houille sèche, à longue flamme*, où l'oxygène augmente encore jusqu'à 16 et 18 pour 100, et où le carbone diminue à proportion. Elle perd au moins 40 pour 100 de matières volatiles à la calcination, et donne un charbon poreux, où les fragments restent à peu près isolés. Ces houilles, qui donnent moins de chaleur, sont bonnes pour les chaudières d'évaporation.

Si nous connaissons bien les quantités relatives de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, dans un assez grand nombre de houilles, nous ignorons encore comment ces éléments sont réunis pour en former les principes immédiats. Il est probable qu'il y a ici mélange de divers composés formés à la manière des substances organiques, dont les uns sont de simples carbures d'hydrogène peut-être de diverses espèces, et les autres des carbures oxygénés. C'est quand on pourra séparer ces diverses matières qu'on connaîtra réellement les différents combustibles charbonneux.

Gisement. — La houille appartient aux terrains de sédiment, et principalement à cette partie que sa présence a fait nommer groupe carbonifère, § 160, note, qui se compose de lits alternatifs de grès, d'argile schisteuse et de calcaire. Le combustible forme dans le grès des couches plus ou moins puissantes, et souvent enchevêtrées avec celles des matières arénacées, dont il existe ordinairement plusieurs les unes au-dessus des autres : il y a des localités où l'on en compte plus de soixante ainsi superposées. Les grès qui les séparent sont souvent remplis eux-mêmes de matières charbonneuses, et surtout dans le voisinage des couches; ils passent à des matières fines schisteuses, qu'on nomme *schistes charbonneux* ou *schistes bitumineux*, dont quelques variétés sont aussi employées comme combustible, et qui produisent alors une grande quantité de cendres. L'épaisseur des couches de la houille varie considérablement, depuis quelques centimètres jusqu'à un mètre ou deux, quelquefois jusqu'à six ou sept mètres; mais ces derniers ne sont que des assemblages de couches minces, séparées par des lits de matières étrangères très chargées de charbon.

Il y a cependant aussi de véritables houilles dans les dépôts

supérieurs, et jusqu'à la fin des terrains jurassiques; mais alors ce sont presque partout des houilles sèches, et qui ne forment pas, à beaucoup près, des dépôts aussi considérables que dans le terrain carbonifère.

Les débris organiques sont nombreux, et en général bien caractérisés, dans les dépôts de houilles, et c'est dans les matières schisteuses qu'ils se rencontrent particulièrement. Ce sont tantôt des empreintes de feuilles, tantôt des tiges de diverses espèces, le plus souvent écrasées. Le plus grand nombre de ces débris appartient à la famille des fougères et à des espèces de haute taille, comme on en connaît sous l'équateur; mais il y en a beaucoup aussi de la famille des équisétacés, même des lycopodes et des aroïdes, tous de haute taille. Les conifères, dont on trouve diverses espèces qui se rapprochent des araucaria, paraissent, d'après la consistance de leur bois, avoir eu une grande part dans la formation des matières charbonneuses. Dans les dépôts supérieurs à la formation carbonifère, où les espèces de fougères sont généralement différentes, il se trouve en outre des débris de cycadés qui ont fait donner le nom de *stipite* au combustible; mais ce nom est aujourd'hui abandonné, parce que la matière ne présente pas de caractères assez saillants pour être distinguée de la houille.

Les couches de houille, du moins dans la formation carbonifère, ne sont pas toujours planes dans toute leur étendue; elles sont fréquemment *en forme de bateau*, c'est-à-dire qu'à partir du point le plus bas elles se relèvent plus ou moins rapidement de tous côtés, conformément aux pentes des montagnes environnantes. Souvent elles sont repliées sur elles-mêmes, en formant un nombre plus ou moins considérable de zigzags plus ou moins ouverts. Dans beaucoup de cas, il arrive que les couches les mieux réglées se trouvent tout-à-coup bouleversées; combustibles et matières terreuses, tout se trouve brisé, et les fragments sont alors entremêlés de manière que l'exploitation devient impossible.

Les gîtes de houilles de cette grande formation se trouvent indifféremment à toutes les hauteurs; on en cite à 4600 mètres, tandis que d'autres se trouvent au niveau des mers, comme en Flandre, ou même au-dessous, comme à Withaven en Angleterre, où l'exploitation s'avance à plus d'un quart de lieue sous la mer, et à plus de 100 mètres au-dessous de son fond dans cette localité. Ils se présentent souvent en petits bassins particuliers, isolés les uns des autres, et réunis en grand nombre sur une zone d'une certaine étendue : c'est ce qu'on voit dans le centre et dans le midi de la France. Ailleurs les différents gîtes qu'on observe semblent

se rattacher plus directement les uns aux autres, et avoir fait partie d'un même tout, morcelé et disloqué de diverses manières. Telles sont les houillères du nord de la France, de la Belgique et de l'Angleterre, qui semblent appartenir à un seul et même dépôt qui aurait couvert un espace immense.

Dans les parties supérieures des terrains de sédiment, les couches de houille sèche ne présentent pas autant d'irrégularité, et ne se trouvent ni en bassins isolés ni en dépôts immenses. Elles forment alors des couches, ou plutôt des amas plus ou moins étendus, réguliers, entre deux couches successives du terrain.

Localités principales. — La houille est abondante dans un grand nombre de lieux ; et probablement on la trouvera dans toutes les contrées dont le sol appartient aux dépôts de sédiment inférieur, à mesure que l'industrie s'y développera. Il n'y a que les régions formées par les terrains de cristallisation, ou par des dépôts de sédiment trop modernes, qui en soient pour toujours privées ; sous ce rapport une grande partie du nord de l'Europe, la Suède, la Norwége, la Russie, etc., sont dans une position très désavantageuse ; il en est de même de l'Italie.

Le centre de l'Allemagne présente une assez grande quantité de houille exploitée activement. L'Angleterre en renferme une abondance extrême, et nous en possédons en France des gîtes considérables. Les dépôts du département du Nord se rattachent à ceux de la Belgique, et se montrent depuis le Pas-de-Calais jusqu'au-delà d'Aix-la-Chapelle ; à la suite se trouvent les terrains houillers des duchés de Luxembourg et de Deux-Ponts, qui se prolongent peut-être dans la Moselle, et ceux du Haut-Rhin, qui sont peu considérables.

Il se trouve une quantité prodigieuse de dépôts de houilles autour du groupe granitique qui s'élève au centre de la France : dans le département de Saône-et-Loire, où on en exploite au Creusot ; dans la Nièvre, où il y a des exploitations à Decize ; dans l'Allier, le long de la vallée de la Queune, où sont les mines de Noyant, de Fins, etc., et dans le Puy-de-Dôme. Les dépôts se prolongent par Roanne, Montbrison, Saint-Étienne, Rive-de-Gier, dans le département de la Loire et du Rhône, puis dans l'Ardèche, le Gard, l'Hérault et l'Aude, jusqu'au pied des Pyrénées. De là on retrouve la houille, et quelquefois en quantité immense, dans le Tarn, l'Aveyron, le Lot, la Dordogne, et enfin dans le Cantal. Nous en retrouvons aussi dans les départements de la Vendée, du Finistère et de la Manche, et il en existe quelques dépôts dans le département du Var.

Usages. — La houille est une des matières minérales les plus précieuses, et l'industrie lui doit la plus grande partie de ses progrès dans ces derniers temps. C'est, en effet, à ce combustible qu'est due la propagation des machines à vapeur, qui suppléent aux cours d'eau, dont tant de contrées se trouvent privées. Les fonderies, les usines de tout genre en font une consommation prodigieuse autour des lieux d'extraction, et dans tous ceux où elle peut arriver à bon compte. Il s'en extrait annuellement, en France, pour 30 millions de francs. Malheureusement nous avons beaucoup à désirer relativement aux moyens de transport, qui sont souvent trop dispendieux pour diverses localités.

On augmente aussi le nombre des applications de la houille en la carbonisant, c'est-à-dire en la privant, par une distillation plus ou moins parfaite, du bitume qu'elle renferme, et d'où résulte le charbon poreux, brillant, dur, nommé *coke*, qui produit une grande chaleur par la combustion, et qui est très important dans une multitude d'opérations. La matière bitumineuse qu'on en retire est employée à divers usages, et très utile dans la marine.

C'est aussi par la distillation de la houille qu'on obtient le gaz d'éclairage, qui se dégage tout formé, mais qu'il est nécessaire d'épurer avant de le livrer à la consommation. On lui fait pour cela traverser de l'eau de chaux ou des matières qui en sont imbibées.

§ 235. **Inflammation des houillères.** — Les dépôts de houilles sont sujets, dans le sein même de la terre, à s'enflammer spontanément. Il s'en fait alors ordinairement une combustion lente, parce que l'air arrive difficilement dans ces masses ; mais quelquefois aussi il se fait des crevasses dans le terrain, et l'air venant à pénétrer librement, il en résulte une inflammation très vive, qu'on a souvent beaucoup de peine à arrêter, soit en bouchant les ouvertures, soit en faisant arriver des ruisseaux pour éteindre l'incendie. La chaleur dégagée par ces combustions calcine toutes les matières environnantes, réduit les parties schisteuses en *tripoli* ou bien en matières à demi vitrifiées, qu'on nomme *porcellanites*, quelquefois même en *matières scoriacées*. Il se forme fréquemment aussi des *matières alunifères*, et dans quelques points il se dégage du sel ammoniac des fissures du terrain, quelquefois en assez grande quantité pour mériter d'être récolté.

Les lignites, dont nous allons parler, sont sujets aux mêmes embrasements et produisent les mêmes effets.

Lignite. — *Houille maigre, bois bitumineux.*

§ 236. **Caractères.** — Matière noire ou brune, généralement moins brillante que la houille, s'allumant et brûlant facilement avec flamme, fumée noire et odeur bitumineuse ; donnant à la distillation des matières bitumineuses et de l'eau, qui renferme souvent de l'acide acétique ; laissant un charbon brillant, compacte, qui conserve sensiblement la forme des fragments employés.

A la calcination à l'air libre, il se dégage de 50 à 70 pour 100 de matières volatiles ; et il reste un charbon assez analogue à la braise, qui conserve la forme des morceaux, et continue à brûler seul jusqu'à se réduire en cendre.

La quantité d'hydrogène est encore de 5 à 6 dans ces combustibles, mais l'oxygène va de 18 à 27. C'est avec les houilles sèches à longue flamme que les lignites ont le plus d'analogies ; mais le carbone diminuant encore, la chaleur produite est moindre. Il y a aussi des variétés où l'hydrogène augmente beaucoup ; l'oxygène diminue alors en proportion, et la matière se rapproche des bitumes. Dans ce cas elle se fond facilement et ne laisse qu'un charbon boursouflé, très léger, qui ne produit pas de chaleur.

Le lignite se présente quelquefois sous la forme de branches d'arbre, qui à l'intérieur offrent le tissu ligneux des plantes dicotylédones ; mais les grandes masses sont compactes ou schistoïdes, sans aucune apparence de tissu organique : la matière présente alors une certaine analogie extérieure avec la houille, dont elle diffère cependant par moins d'éclat.

Gisement. — Les débris organiques végétaux qui accompagnent les dépôts de lignites sont tout différents de ceux de la houille ; les cryptogames vasculaires ont ici complétement disparu, et ce sont des bois de conifères qui composent uniquement la masse du combustible, dans laquelle on trouve souvent des bois parfaitement conservés ; les impressions de feuilles, qui sont communes dans les argiles schisteuses, ont toutes un certain air de famille avec celles de nos dycotylédones actuelles. On trouve dans les matières terreuses environnantes des débris de coquilles analogues à celles qui vivent dans nos eaux douces.

Ces combustibles commencent à se montrer dans les couches terreuses et sableuses qui préludent à la craie, § 160, note. Mais c'est surtout au-dessus qu'ils deviennent abondants, et forment des dépôts considérables à divers étages de la série et dans toutes les contrées de la terre. Il en existe une grande quantité en

France, et qui sont exploités en divers lieux. Il s'en trouve quelques indices aux environs de Paris; mais des dépôts étendus se présentent en divers points du département de l'Aisne, à Voreppe dans l'Isère, à Saint-Paulet dans l'Ardèche, à Piolen en Vaucluse, à Gardanne et Roquevaire dans les Bouches-du-Rhône, à Sisteron et Forcalquier dans les Basses-Alpes, etc.

Usages. — Ce combustible est encore très précieux dans tous les points où il se trouve. Il donne plus de chaleur que le bois, et il peut être employé avec avantage pour chauffer et évaporer des liquides, pour la cuisson de la chaux et celle des poteries communes. Les variétés qui ne répandent pas de mauvaise odeur sont très agréables pour le chauffage des appartements. On prétend qu'il ne peut servir dans les fonderies, même en remplacement du bois; ce qui paraît une assertion fort douteuse.

Les variétés chargées de pyrite, comme celles du département de l'Aisne, sont employées pour la préparation de l'alun et du sulfate de fer; les résidus de ces fabrications, ou les lignites mêmes, ont été appliqués à l'agriculture, sous le nom de *cendres rouges* et de *cendres noires*, et ont produit des résultats très avantageux dans les terres stériles de la Champagne et de la Thiérache.

Le *jayet*, dont on a fait pendant longtemps des bijoux de deuil, et divers objets de fantaisie, n'est que du lignite compacte. C'était surtout à Sainte-Colombes-sur-l'Hers, dans le département de l'Aude, qu'on le travaillait; il y occupait 1000 à 1200 ouvriers. Aujourd'hui cette industrie est entièrement perdue.

Bitume. — *Asphalte, pisasphalte, poix minérale, goudron minéral.*

§ 237. **Caractères.** — On nomme *bitume* des matières solides ou visqueuses, ordinairement noires ou brunes, qui se fondent assez facilement, tantôt à la température de l'eau bouillante, ou même au-dessous, tantôt à une température plus élevée.

Certains bitumes sont insolubles dans l'alcool; les autres, partie solubles, partie insolubles. La plupart sont attaqués par l'éther ou par l'essence de térébenthine; ils laissent souvent alors pour résidu des matières charbonneuses, ou une autre matière bitumineuse inattaquable, dont le point de fusion est différent.

Soumis à la distillation, ils donnent des matières plus ou moins visqueuses, quelquefois des huiles assez limpides, qui sont des carbures d'hydrogène qu'on peut épurer et modifier par des distillations répétées. On trouve pour résidu une espèce de charbon brillant très boursouflé, ou une matière bitumineuse fixe, qui est oxygénée.

Les bitumes, tels qu'ils se présentent à nous dans la nature, sont probablement des mélanges en toutes proportions de carbures d'hydrogène de diverses espèces, avec des composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, analogues aux combustibles charbonneux dont nous venons de parler. Quand ces derniers dominent, la matière se rapproche des houilles sèches et des lignites; plus ils diminuent et plus le bitume est visqueux ou liquide, plus il se rapproche des carbures d'hydrogène, qu'on prépare ou qu'on extrait dans les laboratoires.

Gisement. — Les bitumes commencent à se montrer dans les dépôts sédimentaires siluriens; mais ils se présentent ensuite dans tous les sédiments postérieurs, où ils deviennent de plus en plus abondants, et dans les dépôts qui recouvrent la craie, où ils se trouvent en très grande quantité. Dans les parties les plus anciennes ils se présentent surtout en petits nids, ou en petits mamelons dans les filons métallifères qui traversent le terrain; plus haut ils imprègnent, en quantités plus ou moins considérables, soit les matières schisteuses du terrain houiller, soit divers dépôts analogues qui se trouvent au-dessus. Dans la formation jurassique et dans les premiers dépôts de la formation crayeuse ils se trouvent mélangés avec des calcaires en couches plus ou moins puissantes. Dans les dépôts postérieurs à la craie, ils imprègnent des matières arénacées. Souvent de l'intérieur de la terre il sort des eaux, à la surface desquelles le bitume se rassemble; le lac Asphaltite est depuis bien des siècles connu par la quantité de bitume qu'on récolte à sa surface; il en est de même des étangs bituminifères de l'île de Zante décrits par les anciens.

La France possède un assez grand nombre de dépôts bitumineux, il s'en trouve dans les tufs basaltiques en Auvergne, dans les sables tertiaires à Gabian près de Pézenas, à Lobsann et Beschelbrunn dans le Bas-Rhin, dans les dépôts crétacés supérieurs à Orthez et Caupenne près de Dax, à Seyssel près la perte du Rhône dans l'Isère, etc. Il s'en trouve de même une grande quantité en Suisse, dans différentes parties de l'Allemagne, de la Pologne, de la Russie, etc., et dans toutes les parties du monde.

Usages. — Les différentes sortes de bitumes sont employées à divers usages. Ceux qui sont naturellement huileux, plus ou moins visqueux, comme à Beschelbrunn, et dans un grand nombre de lieux de l'Allemagne, sont employés immédiatement pour graisser les voitures, pour enduire les cordages et tous les agrès de la marine, comme le goudron végétal artificiel. On mélange les bitumes avec des calcaires en poudre, avec des sables, des graviers, pour

le dallage des trottoirs, des terrasses, pour des tuyaux de conduite, des réservoirs, etc. On en imprègne des toiles pour faire des couvertures légères ; on les fait entrer dans certains vernis dont on couvre le fer pour le préserver de la rouille; on s'en sert pour des peintures grossières qui sont très solides, etc.

Les anciens Égyptiens se sont beaucoup servis du bitume du lac Asphaltite pour embaumer les corps et en faire ce qu'on appelle des *momies*, expression qui rappelle le *moum* des Persans, qui est une espèce de naphte, § 241, très odorant et fort renommé. C'est de ce mot *momie* ou *moum* qu'est venu au bitume le nom de *baume de momie*. On nomme aussi momie une couleur brune qu'on tire de cette substance.

§ 238. **Matières résineuses.** — On peut placer à la suite des bitumes différentes matières formées également de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, qui sont fusibles, qui brûlent avec une odeur tantôt aromatique, tantôt fétide, et qui ont plus ou moins d'analogie avec les résines.

Le Succin ou *ambre jaune* est la plus remarquable et la plus répandue de ces matières. C'est une substance jaunâtre, rougeâtre ou brunâtre, tantôt transparente, tantôt opaque, qui renferme quelquefois des insectes, des débris de plantes, etc., comme les résines qui découlent encore de nos arbres.

Plusieurs des variétés donnent à la distillation des aiguilles cristallisées, qui sont de l'*acide succinique;* mais il en est d'autres qui n'en donnent pas. Il en est qui sont insolubles dans l'alcool; d'autres qui s'y dissolvent en partie. Toutes sont plus ou moins solubles dans l'éther ou dans l'essence de térébenthine.

On a nommé Rétinasphalte une matière analogue, attaquable en partie par l'acool, et qui donne pour résidu une sorte de bitume solide. Il y a encore diverses autres matières résineuses généralement peu étudiées qu'on range à la suite du succin.

Toutes ces matières appartiennent à des dépôts sédimentaires assez modernes; souvent elles se trouvent avec les lignites, ou dans les matières terreuses qui les renferment.

Le succin est employé comme objet d'ornement. A diverses époques on l'a taillé en perles à facettes, dont on faisait des colliers. Dans le Levant il est encore très estimé; on en fait des chapelets pour les musulmans, des poignées de couteaux et de poignards, des embouchures de pipes, etc. Il sert à la préparation de l'acide succinique, et pour la confection de certains vernis gras, auxquels il donne beaucoup d'éclat et de solidité.

C'est surtout sur les bords de la Baltique qu'on recueille le

succin ; il est arraché par les ruisseaux et par la mer même, aux terrains sableux qui s'étendent de Memel à Dantzig, et on le récolte sur la côte ; on cherche aussi les dépôts de lignite qui le renferment.

§ 239. **Bitume élastique.** — Nous devons mentionner aussi le *bitume élastique*, ou *caoutchouc fossile*, qui a une certaine analogie avec la gomme élastique ou caoutchouc. Cette substance se trouve en Angleterre dans les mines de plomb du Derbyshire, où elle est accompagnée de matière résineuse, quelquefois de bitume en globules. On l'a retrouvée dans les dépôts charbonneux de Montrelais (Loire-Inférieure), et dans diverses autres localités.

Carbures d'hydrogène divers.

§ 240. **Paraffine.** — Les carbures d'hydrogène solides sont des matières plus ou moins analogues à la cire, au blanc de baleine, aux matières grasses, et qu'on a nommées *cire fossile*, *schéirérite*, *hatchétine*, *ozokérite*. Elles se trouvent dans le voisinage de la houille ou dans la houille elle-même. On en indique en Moldavie, près de Slanik, où l'on en a extrait en assez grande quantité pour en faire des bougies ; à Gresten, près de Gaming en Autriche, et en Angleterre. Toutes ces matières ont de l'analogie avec la *paraffine*, qu'on extrait des goudrons dans la distillation des matières ligneuses. Ce serait alors un carbure formé de 86 de carbone et 14 d'hydrogène.

§ 241. **Naphte et pétrole.** — Nous ne connaissons dans le règne minéral qu'un carbure liquide : c'est le *naphte*, matière très volatile, d'une odeur pénétrante particulière, qui par distillation peut être obtenue sous forme de liqueur jaunâtre transparente, où l'on trouve encore la composition de la paraffine.

Dans la nature, le naphte est toujours souillé par des matières étrangères qui le colorent en brun plus ou moins foncé, et il porte alors le nom de *pétrole*. Il appartient encore à des dépôts de sédiment assez modernes, ou du moins il les traverse souvent pour arriver à la surface de la terrre. En France, on n'en connaît qu'au village de Gabian près de Pézenas ; mais il se trouve en assez grande quantité dans le duché de Parme, et sur toute la pente des Apennins, dans le Modenais ; il en existe une immense quantité sur les bords de la mer Caspienne, en Perse et en Chine.

Cette matière est utilisée pour l'éclairage dans les divers lieux où elle se trouve assez abondamment : c'est ainsi que le pétrole du village d'Ammiano est employé pour l'éclairage de la ville de Parme ; en Perse, le peuple ne se sert que de pétrole pour se procurer de la

lumière depuis Mossul jusqu'à Bagdad. On le regarde aussi dans toute cette contrée comme un spécifique puissant contre les douleurs rhumatismales. Quelques variétés pures, qu'on nomme *moum*, sont particulièrement recherchées comme un baume souverain pour les blessures les plus graves. Il est aussi employé comme vermifuge, et dans le midi de la France le *pétrole* ou *huile de Gabian* a sous ce rapport une grande renommée.

§ 242. **Grisou.** — Le gaz détonant des houillères est un carbure d'hydrogène gazeux qui se compose de 75 de carbone et de 25 d'hydrogène ; mais il est souvent mélangé avec d'autres combinaisons des mêmes principes. Il brûle tranquillement, avec une flamme jaunâtre, tant qu'il n'est pas mêlé avec l'air atmosphérique ; mais dans le cas contraire il détone avec violence. Il est moitié plus léger que l'air, et se tient dès lors à la partie supérieure des cavités souterraines. Les mineurs le désignent, en général, en France sous le nom de *grisou*, *brisou* ou *terrou*, et l'inflammation prend le nom de *feu grisou*.

Ce gaz est abondant à la surface de la terre. Dans certaines mines de houille, qui sont, en général, celles des meilleures qualités, il se dégage continuellement de la masse de combustibles ; et il y a des couches dans lesquelles il existe en si grande quantité, qu'il suffit d'y percer un trou pour en provoquer un jet violent, continu, que dans quelques endroits les mineurs tiennent toujours allumé pour s'en débarrasser. Il se dégage en outre dans un grand nombre de lieux de l'intérieur de la terre, tantôt par les fissures de diverses couches solides, tantôt à travers les pores des matières sableuses, ou enfin à travers l'eau des marais qui recouvrent ces terrains. Quelquefois il se dégage seul, mais souvent il est mélangé de pétrole plus ou moins épais et de bitume. Ailleurs il sort avec une grande quantité d'argile délayée par l'eau, et souvent imprégnée de sel marin ; ce qui a fait donner à ces sources le nom de *salzes*. Il y en a qui vomissent ou ont vomi une grande quantité de matières terreuses dont l'accumulation a formé des cônes, du sommet desquels il en sort encore assez communément. On a donné alors à ces phénomènes le nom de *volcans vaseux*, *volcans de boues*. Lorsque ces jets de gaz, de pétrole et de bitume se trouvent accidentellement enflammés, ils continuent à brûler pendant plus ou moins de temps, jusqu'à ce que de grandes averses, de grands coups de vent viennent les éteindre. Il en résulte ce qu'on nomme les *feux naturels*, les *fontaines ardentes*, etc. La chaleur est assez forte pour calciner le terrain, et former en diverses localités de grands espaces arides, privés de toute végétation. Il y a

de ces feux qui brûlent depuis les temps les plus anciens; tels sont ceux du Mont-Chimère, sur les côtes de l'Asie-Mineure, cités par Pline, et reconnus de nouveau, en 1811, par le capitaine Beaufort. Le plus souvent c'est par les fentes de la terre que le gaz et les flammes s'échappent; mais quelquefois il en sort par l'orifice des cavernes, comme auprès de Cumana, où M. de Humboldt a vu parfois les flammes s'élever à plus de 30 mètres.

Ces sources d'hydrogène carboné sont assez communes à la surface du globe; il en existe un grand nombre au pied des Apennins, dans le Parmesan, le Modenais, le Boulonnais. C'est là que se trouvent les feux de Velleja, de Pietra-Mala, de Barigazzo, etc., qui sont les plus connus, et un grand nombre de salzes plus ou moins puissantes. Il existe aussi des salzes considérables en Sicile, entre Arragona et Girgenti, où on les nomme *Maccalubes ;* mais c'est surtout autour de la mer Caspienne, particulièrement près de Bakou, que les phénomènes se présentent en grand, et on les cite également sur une grande échelle dans l'Indoustan : il suffit, dans ces localités, de percer un trou d'un mètre ou deux de profondeur pour se procurer des jets de gaz.

Les lieux de l'Asie où se dégagent ainsi des matières inflammables ou enflammées, ont été en grande vénération parmi les adorateurs du feu, et le sont encore pour un petit nombre de *Parsis* ou *Guèbres*, dont quelques uns se sont établis pour cela autour de Bakou, lieu saint, d'où ils expédient du gaz en bouteille à leurs coreligionnaires de la Perse et de l'Indoustan. Généralement on utilise ces feux naturels pour la cuisson de la chaux, des briques, des poteries, pour l'évaporation des liquides. Dans quelques contrées le peuple les emploie pour faire cuire ses aliments, et souvent il provoque le dégagement du gaz, qu'il enflamme ensuite, par des trous plus ou moins profonds.

Lampe de sûreté. — L'inflammation de l'hydrogène carboné mélangé d'air atmosphérique, dans l'intérieur des mines, produisant des explosions excessivement dangereuses pour les ouvriers, il est de la plus haute importance de se débarrasser de cette matière, ce à quoi on parvient en partie par un bon système d'aérage. Cependant il s'en accumule toujours dans certaines parties moins aérées que les autres, et il ne faut y pénétrer avec des lumières qu'en prenant les plus grandes précautions. Davy, célèbre chimiste anglais, est parvenu, après de savantes recherches, à construire une lampe capable de préserver de tout accident, et qu'on nomme *lampe de sûreté:* c'est une lampe à l'huile, dont la flamme est entourée de tous côtés par une toile métallique. Davy a fait voir qu'en

enflammant un mélange détonant enfermé dans une telle enveloppe, la flamme ne pouvait se communiquer au-dehors; par conséquent un tel appareil peut être porté dans les mines les plus infectées de grisou sans craindre aucun accident.

Ce savant, à la suite de nouvelles recherches, a ajouté un perfectionnement important, en mettant une spirale de platine à 4 ou 5 centimètres au-dessus de la mèche. Ce métal, échauffé, a la propriété de devenir incandescent dans des mélanges détonants formés en certaines proportions; de sorte que quand on arrive avec une telle lampe dans un endroit où le gaz est assez abondant pour l'éteindre, le fil devient tout-à-coup lumineux, et répand assez de lumière pour permettre à l'ouvrier de se retirer. Il y a plus : lorsque le mineur est revenu dans une partie où le gaz et l'air atmosphérique se trouvent en proportions convenables, le fil incandescent détermine une inflammation dans l'intérieur de la lampe, et le gaz enflammé rallume la mèche.

Bois altéré et tourbe.

§ 243. **Bois altéré.** — Outre le lignite proprement dit, où l'on observe des caractères qui se rapprochent de ceux de la houille, on trouve fréquemment des bois qui conservent tout le tissu ligneux, qui s'allument et brûlent comme les bois ordinaires, avec dégagement d'une fumée piquante qui fatigue les yeux, ayant quelquefois une odeur bitumineuse ou une odeur fétide, plus rarement une odeur balsamique.

Ces bois se trouvent quelquefois dans le même gisement que le lignite; mais le plus souvent ils forment des dépôts particuliers dans les terrains les plus modernes, et constituent ce qu'on a appelé des *forêts sous-marines;* on les a quelquefois employés pour la charpente comme le bois ordinaire, ou bien comme combustibles.

La *terre de Cologne* est une autre altération des bois enfouis dans le sein de la terre; elle est à l'état terreux, et se réduit facilement en poudre par le desséchement; elle brûle sans flamme comme le bois pourri et sans fumée. C'est encore une matière importante comme combustible dans les environs de Cologne, où elle forme des dépôts considérables de 12 à 13 mètres d'épaisseur, étendus sur plusieurs lieues, et dans lesquels on reconnaît des conifères et des palmiers qu'on observe encore debout comme sur la place même où ils ont vécu. On l'exploite activement et on la moule, après l'avoir humectée, pour la transporter plus facilement. Il s'en fait une grande consommation dans le pays. Les cendres qui en proviennent sont

recherchées pour l'agriculture; on les transporte jusqu'en Hollande, et sur les exploitations on brûle même le combustible tout exprès pour cet objet.

§ 244. **Tourbe.** — On nomme *tourbe* une matière brune, plus ou moins foncée, qui se forme sous les eaux par l'accumulation et l'altération de diverses plantes. Elle est homogène et compacte dans les parties inférieures du dépôt, grossière et remplie de débris visibles d'herbes diverses dans les parties supérieures. Elle brûle facilement, avec ou sans flamme, en donnant une odeur particulière. A la distillation, il s'en dégage de l'eau chargée d'acide acétique, une matière huileuse et des gaz.

La tourbe est formée par l'accumulation des plantes aquatiques, et particulièrement par les sphaignes et les conferves, qui sont toujours submergées : il s'en fait encore journellement dans nos marais. Cette matière couvre quelquefois des espaces immenses dans les parties basses de nos continents, remplissant les bas-fonds des larges vallées dont la pente peu considérable empêche l'écoulement des eaux. Souvent ces dépôts sont encore couverts d'eau; mais dans divers lieux ils sont à sec, et il s'est formé au-dessus d'eux des couches de sable et de limon qui ont suffi pour donner naissance à de belles prairies.

Les plus grandes tourbières de France sont celles de la vallée de la Somme, entre Amiens et Abbeville. Il y en a aussi de considérables dans les environs de Beauvais, dans la vallée de Lourcq, dans les environs de Dieuze. Il y en a en exploitation dans la vallée d'Essone, près de Paris. La plupart des belles prairies de la Normandie sont sur la tourbe. La Hollande, qui n'a pas d'autre combustible, en renferme une grande quantité, ainsi que la Westphalie, le Hanovre, la Prusse et la Silésie.

La tourbe est encore un combustible précieux dans toutes les contrées où elle se trouve, et elle y est exploitée avec activité ; il s'en extrait pour plus de trois millions en France. On l'emploie à tous les usages auxquels le bois lui-même pourrait servir. On la carbonise aussi dans des fourneaux construits à cet effet; et elle produit un charbon plus durable que le charbon de bois, qui sert souvent avec avantage à tous les usages auxquels celui-ci peut être employé.

Acide carbonique.

§ 245. Corps gazeux, incolore, inodore, non inflammable, soluble dans l'eau, à laquelle il communique une saveur aigrelette,

la propriété de mousser, et celle de précipiter par l'eau de chaux.

Ce gaz se trouve à l'état libre au fond des puits, dans les mines abandonnées, dans l'intérieur de quelques cavernes naturelles, telles que les *Estouffis* des environs de Clermont en Auvergne, la grotte d'Aubenas dans l'Ardèche, la moufette de Pérault près de Montpellier, la grotte du Chien près de Naples, plusieurs des *molfete* de la Campanie, les cavernes de Bolzena dans les États romains, l'antre de Typhon en Cilicie, etc. C'est du sol de ces cavernes que le gaz s'échappe ordinairement ; et il suffit d'y remuer la terre pour qu'il s'en dégage souvent en quantité prodigieuse : c'est ce qui arrive fréquemment autour de Clermont en Auvergne, lorsqu'on creuse dans les masses de pouzzolanes que les anciens volcans y ont accumulées. Il s'en dégage souvent en quantité immense des cratères volcaniques éteints, comme au volcan de Pasto dans la contrée de Quito, ou dans les anciennes solfatares, comme à Java, dans la vallée du Poison, ou *Guevo Upas*, où tout être vivant est immédiatement asphyxié.

Le gaz acide carbonique est fréquemment dissous dans les eaux et en quantité beaucoup plus grande que ne le comporte la pression ordinaire de l'atmosphère. Il en résulte les *eaux minérales gazeuses* qu'on trouve dans un grand nombre de lieux, et parmi lesquelles la plus connue est l'*eau de Seltz* ou *Selten*, dans la Prusse-Rhénane, qui est aussi la plus forte, et la plus simple sous le rapport des autres matières tenues en solution. Non seulement il y a des eaux froides chargées de cet acide, mais encore beaucoup d'eaux chaudes : comme celles de Vichy et du Mont-Dore en Auvergne, de Vals dans l'Ardèche, qui ont jusqu'à 55° ; de Wisbaden, près de Mayence, qui vont jusqu'à 68°, etc.

§ 246. **Sels organiques.**—Parmi les sels organiques, le *guano* est la seule matière qui ait quelque importance ; elle est le résultat de l'accumulation de la fiente d'une multitude innombrable d'oiseaux qui fréquentent les îles qu'on trouve sur les côtes du Pérou. Elle y forme des dépôts qui ont jusqu'à 50 et 60 pieds d'épaisseur sur une étendue très considérable : on assure qu'on en a trouvé également dans les îles de l'Amérique du Nord.

Le guano est exploité comme un engrais précieux, et c'est à cette matière que les côtes stériles du Pérou doivent la fertilité qu'on leur procure par le travail. On en a transporté jusqu'en France dans ces derniers temps.

Carbonates.

§ 247. **Caractères généraux** — Les carbonates sont faciles à reconnaître en ce qu'ils font toujours effervescence avec l'acide azotique, soit à froid, soit à chaud.

A l'exception de trois espèces, tous ces corps sont des bicarbonates, où l'acide renferme deux fois l'oxygène de la base ; les uns sont simples, les autres composés de diverses manières ; il en est qui sont anhydres, d'autres hydratés, ou hydratifères.

Les carbonates anhydres, tous de même formule, se partagent en deux groupes à chacun desquels se rattachent des carbonates doubles ou sulfatifères. Les uns appartiennent au système rhomboédrique, les autres au système prismatique droit rectangulaire ; mais à la tête de chacune de ces divisions se trouve le carbonate de chaux, qui présente les deux formes, et semble indiquer qu'il y a là un exemple en grand de dimorphisme.

Les *carbonates rhomboédriques* cristallisés ont entre eux les plus grands rapports par tous les caractères extérieurs ; et tellement, que pendant longtemps la plupart ont été confondus en une seule espèce. L'analogie se soutient jusque dans les variétés de structures ; en sorte que les carbonates de chaux, de fer, de manganèse, etc., qui n'ont point été altérés, ne peuvent en aucune manière se distinguer à l'œil. Tous ces carbonates sont susceptibles de clivages, et donnent pour résultats des rhomboèdres fort rapprochés les uns des autres ; savoir :

Diallogite. Rhomboèdre de	105°	et 77° ?
Calcaire	105° 5'	et 74° 55'
Dolomie (1)	106° 15'	et 73° 45'
Sidérose	107°	et 73°
Giobertite	107° 25'	et 72° 35'
Smithsonite	107° 40'	et 72° 20'

Les *carbonates prismatiques* présentent des circonstances analogues. Aucun de ceux que nous connaissons n'est susceptible de clivage ; mais dans toute leur manière d'être, ils ont la plus grande analogie, soit sous le rapport des groupements, § 51, soit sous le

(1) L'angle de la dolomie est précisément la moyenne entre l'angle de 105° 5' du carbonate de chaux et 107° 25' du carbonate de magnésie ; or la dolomie est formée de 1 atome de l'un et 1 atome de l'autre. Cette moyenne, proportionnelle aux nombres atomiques, se soutient dans toutes les réunions cristallines de plusieurs corps que j'ai pu examiner.

rapport des cristaux, qui peuvent tous être rapportés à des prismes rhomboïdaux très rapprochés ; savoir :

Aragonite. Prisme rhomboïdal de	116° 5' et 63° 55'
Céruse.	117° et 63°
Strontianite	117° 32' et 62° 28'
Whithérite.	118° 57' et 61° 3'

De tous les carbonates, il n'y en a qu'un petit nombre qui puissent nous intéresser spécialement : ce sont, d'un côté, ceux qui sont abondants à la surface du globe ; de l'autre, ceux qui sont importants comme minerais métalliques ou comme matières éminemment utiles dans certaines industries. Tous les autres sont des substances accidentelles des gîtes métallifères dont il suffit en quelque sorte de connaître l'existence.

Calcaire. — *Chaux carbonatée, spath d'Islande.*.

§ 248. **Caractères.** — Corps donnant de la chaux vive par calcination, sans gonflement ni décrépitation ; soluble avec une vive effervescence dans l'acide azotique ; solution précipitant abondamment par l'oxalate d'ammoniaque, peu ou point par les autres réactifs. Poids spécifique, 2,72. Réfraction double, à un seul axe répulsif. Dureté peu considérable, la matière se rayant très facilement par une pointe d'acier.

Cette substance est une des plus remarquables sous le rapport de la cristallisation. Elle réalise à elle seule tout ce que peut offrir le système rhomboédrique, § 25 à 27, 41 : des rhomboèdres de toute espèce, depuis les plus obtus jusqu'aux plus aigus ; des scalénoèdres de tous les genres de dérivation, obtus ou aigus ; des dodécaèdres à triangles isocèles, et des prismes à bases d'hexagones réguliers. Tous ces genres de formes sont modifiés de toutes les manières, et réunis les uns avec les autres sous toutes les combinaisons imaginables. Il s'y trouve aussi des groupes de toute espèce de cristaux deux à deux, § 54, de rhomboèdres, de dodécaèdres et de leurs combinaisons.

Le carbonate de chaux ne présente pas des formes accidentelles moins variées que les formes régulières. Tous les genres d'oblitération des cristaux, tous les groupements irréguliers, les stalactites et stalagmites, ou les configurations panniformes, les concrétions pisiformes, les rognons, les incrustations sur des plantes, sur toute espèce de corps, ou dans les aqueducs ; les pseudomorphoses de bois, de coquilles et de madrépores ; les polyèdres par

retrait; toutes les formes accidentelles enfin, se trouvent dans cette substance, qui à elle seule offre en quelque sorte tous les exemples de modification de la matière par les circonstances extérieures : § 59 à 70.

Sa structure est également très variée, et l'on trouve le calcaire en masses laminaires susceptibles de se cliver en plaques plus ou moins épaisses; en masses lamellaires, à grandes ou à petites lames, bacillaires, fibreuses, compactes ou terreuses. Les variétés en grands dépôts renferment souvent des matières étrangères, tantôt plus ou moins cristallines, tantôt terreuses, disséminées par paquet, ou répandues uniformément dans toute la masse, et lui donnant des couleurs de toute espèce. Les variétés mélangées d'argile se nomment *marnes*, et on les distingue en *marne calcaire*, où le mélange est peu considérable, et en *marne argileuse*, où au contraire la matière étrangère est en grande quantité.

§ 249. **Gisement.** — Le calcaire est la matière la plus répandue à la surface du globe, et celle qui constitue la plus grande partie de nos continents. Appartenant essentiellement aux formations sédimentaires, il se trouve en dépôts immenses à tous les étages de la série, depuis les dépôts siluriens jusqu'aux formations les plus récentes, § 160, *note*. Tantôt il compose des couches plus ou moins puissantes qui alternent avec des dépôts divers, arénacés ou argileux, tantôt il forme des montagnes et même des chaînes entières. Quelques uns de ces grands dépôts se distinguent par le mode d'agrégation de leurs particules, les uns ayant une structure compacte, les autres étant terreux et plus ou moins grossiers. Tous sont remplis de débris organiques dont la nature varie considérablement des plus anciens aux plus modernes, et qui fournissent des caractères importants pour les distinguer les uns des autres, même dans les collections (voyez la Géologie).

Dans les formations inférieures on trouve, en général, des calcaires compactes, le plus souvent de couleur sombre; plus haut, les teintes deviennent plus claires, et le plus souvent la texture est moins serrée, l'aspect généralement plus grossier. Dans les formations jurassiques, les parties compactes alternent avec des dépôts oolitiques. Dans la formation de craie, les matières, ordinairement terreuses, présentent plusieurs divisions qu'on distingue en *craie blanche*, qui est la plus pure; en *craie tufau*, qui offre quelquefois assez de solidité pour servir de pierre à bâtir; et en *craie chloritée*, remarquable par la quantité de petits grains verts qui s'y trouvent mélangés. Au-dessus, les dépôts plus ou moins consistants deviennent tout-à-fait grossiers, à texture lâche, et

souvent mêlés de sable dans la plus grande partie de leur étendue.

Les débris organiques, dont le plus grand nombre ont appartenu aux mollusques, présentent le plus souvent des formes complétement étrangères à celles des êtres qui vivent aujourd'hui. Ce n'est qu'après la craie qu'ils se rapprochent de ceux de notre époque, avec lesquels ils deviennent même tout-à-fait identiques dans les couches les plus modernes. Les genres ou les espèces varient le plus souvent d'un dépôt à l'autre; c'est-à-dire que ceux d'une certaine époque disparaissent à la suivante, et font place à d'autres qui se perdent à leur tour. La plupart sont des débris marins, souvent accumulés par milliers, et composant à eux seuls des dépôts immenses; mais il y en a beaucoup aussi des eaux douces, ordinairement disséminés dans une pâte calcaire, compacte ou terreuse. Ceux-ci se montrent déjà dans les terrains houillers, mais ils ne deviennent abondants qu'après la formation jurassique, et surtout après la craie, dans les terrains tertiaires.

Un fait important à remarquer, c'est que quand les divers dépôts calcaires dont nous venons de donner une idée générale se trouvent rapprochés des produits de cristallisation, et surtout entremêlés avec eux, ils prennent des caractères entièrement différents de ceux qu'ils offrent partout ailleurs. Les débris organiques se trouvent souvent alors entièrement détruits; l'état compacte ou même terreux fait place à divers états plus ou moins cristallins, lamellaires ou saccharoïdes, en même temps que les argiles et les grès qui séparent ailleurs les diverses couches deviennent des schistes argileux, des micaschistes, des quarz schisteux, etc. Les teintes sombres ou pâles sont remplacées par des teintes vives, tantôt uniformes, tantôt entremêlées. Des matières nouvelles s'introduisent dans la masse par veines, par paquets ou disséminées, etc., toutes circonstances du plus haut intérêt pour la géologie, et sur lesquelles nous devrons revenir plus tard.

Tufs calcaires. — Indépendamment des dépôts continus qui, se succédant d'âge en âge, ont formé la série sédimentaire, le calcaire se trouve çà et là en dépôts adventifs produits par des sources, et dont quelques uns s'accroissent encore de nos jours. Ce sont les *tufs calcaires*, qu'on trouve en un grand nombre de lieux différents, et qui ont formé quelquefois des dépôts immenses. Ils renferment presque toujours des débris organiques, particulièrement des végétaux qui vivent dans les environs, et quelquefois des coquilles fluviatiles et terrestres.

C'est dans des eaux calcarifères que se forment les pisolites, § 63, et par les infiltrations que sont produites les stalactites qui

encombrent souvent les cavités souterraines, ou grottes, des pays calcaires, dont quelques unes ont une grande célébrité ; telles sont la grotte d'Antiparos dans l'archipel Grec, la grotte d'Auxelle en Franche-Comté, celle de Pool's Hole en Derbyshire, etc.

§ 250. **Situation géographique.** — Toutes les contrées de la terre offrent des dépôts plus ou moins considérables des diverses sortes de calcaires. La plus grande partie du sol de la France en est formée. Les dépôts tertiaires, comprenant des calcaires grossiers marins et des calcaires fluviatiles, couvrent ce qu'on appelait l'Ile-de-France et l'Orléanais, ainsi que la Touraine, la Guienne et la Gascogne, jusqu'au pied des Pyrénées. Beaucoup de calcaires fluviatiles se retrouvent en outre, par lambeaux, dans l'Auvergne, dans le Cantal, dans le Languedoc et la Provence.

La craie qui entoure le grand dépôt parisien se prolonge dans la Champagne, la Picardie, l'Artois; constitue toutes les falaises depuis Calais jusqu'à Honfleur, et se retrouve également sur les côtes d'Angleterre. Elle se continue dans le Maine, la Touraine, une partie du Berri, du Poitou; se retrouve dans l'Angoumois, la Saintonge et la partie méridionale du Périgord.

Les autres calcaires, et plus particulièrement ceux de la formation jurassique, qui couvrent la Franche-Comté et la Bourgogne, constituent la plus grande partie du reste de la France, où ils sont limités par les terrains cristallins des Ardennes, des Vosges, des Alpes, du Dauphiné, des Pyrénées, de la Bretagne; ils entourent de tous côtés le groupe cristallin qui constitue le Limousin, l'Auvergne, le Lyonnais et une partie du Languedoc.

C'est dans le Dauphiné et tout autour des Alpes, ainsi que dans les Pyrénées, que se trouvent surtout les dépôts modifiés plus ou moins profondément par la présence des terrains cristallins.

§ 251. **Usages. Pierre à bâtir.** — Le calcaire est une matière d'un usage journalier. D'abord, comme pierre à bâtir, il présente le grand avantage de se laisser tailler facilement et de conserver néanmoins les arêtes, les moulures et les ornements les plus délicats. Cependant il y a beaucoup de choix à faire : la craie est le plus souvent trop tendre; les variétés lamellaires, simples ou micacées, résistent peu à la charge; beaucoup de calcaires compactes sont secs, suivant le terme reçu, et d'ailleurs sont fréquemment remplis de fissures qui leur ôtent beaucoup de solidité. Les variétés qui conviennent le mieux sont celles qui sont compactes, à cassure inégale, plate ou irrégulière, qui sont mates et souvent ont quelque chose de terreux. On en trouve d'excellentes sous ce rapport dans les formations analogues à celles de Paris et dans les

dépôts jurassiques : ce sont ces formations qui ont fourni des matériaux à la plupart des monuments du monde civilisé. On emploie quelquefois aussi les tufs calcaires, et à cet égard on peut citer surtout ceux des États romains, connus sous le nom de *travertins*, employés dans une grande partie de l'Italie, et dont, en cette contrée, tous les monuments antiques, aussi bien que la plupart des monuments modernes, se trouvent formés.

Pierres gélives. Il y a des pierres qui ne peuvent rester exposées aux intempéries de l'air sans se désagréger plus ou moins promptement et tomber en fragments ou en poussière : ce sont surtout les variétés susceptibles de s'imbiber lentement d'eau que les gelées viennent surprendre avant qu'elle ait pu s'évaporer, et qui, augmentant alors de volume en se consolidant, fait éclater la masse. Ces variétés se nomment *pierres gélives*, et l'on conçoit qu'il faut en éviter soigneusement l'emploi.

On a proposé, pour connaître d'avance si une pierre est gélive ou non, d'en plonger un morceau dans une solution saline et de le retirer après l'imbibition. Le sel, en cristallisant dans l'intérieur et augmentant alors de volume, produit l'effet de la congélation de l'eau ; et si la pierre résiste à l'épreuve, on doit être certain qu'elle résistera de même aux intempéries de l'air. Cet essai, décisif pour faire un excellent choix, a cependant l'inconvénient de faire rejeter quelquefois de très bons matériaux, parce qu'il n'y a pas parité entre une solution saline qui laisse nécessairement un corps dans la pierre, et l'eau pure qui s'évapore sans rien laisser derrière elle. Certaines pierres poreuses ne résistent pas à l'épreuve que nous venons d'indiquer, et cependant ne se désagrègent jamais à l'air, parce que l'eau dont elles se sont imbibées se dégage aussi rapidement qu'elle peut pénétrer.

Chaux et mortiers. — La calcination du calcaire produit la *chaux*, matière très importante pour la préparation des *mortiers*. Mais il faut encore distinguer avec soin les variétés sous ce rapport : les calcaires les plus purs produisent ce qu'on appelle la *chaux grasse*, qui prend beaucoup d'eau à l'extinction, supporte une grande quantité de sable, et fournit par suite beaucoup de mortier ; mais cette chaux est très lente à durcir à l'air, n'y prend jamais même une grande consistance, et ne durcit pas dans les lieux humides. Les calcaires mélangés de silicates alumineux, et principalement de silicates hydratés, produisent au contraire la *chaux maigre* ou la *chaux hydraulique*. Moins productive que la chaux grasse, en ce qu'elle absorbe beaucoup moins d'eau et supporte peu de sable, elle a l'avantage immense de durcir prompte-

ment à l'air et dans les endroits humides, et doit être employée lorsqu'on tient à la solidité plutôt qu'à l'économie. La chaux hydraulique durcit même sous l'eau; circonstance qui la rend indispensable pour toutes les constructions hydrauliques, où les mortiers de chaux grasse se délaieraient complétement.

On ne trouve pas partout des calcaires capables de produire de la chaux maigre ou de la chaux hydraulique; mais on parvient à en faire artificiellement lorsqu'on peut se procurer de la craie ou des marnes calcaires susceptibles de se délayer à l'eau. On les réduit en bouillie épaisse, qu'on mélange avec des matières argileuses délayées ou des scories volcaniques, des scories de forges, des briques, des poteries réduites en poudre fine; on fait alors des pains qu'on laisse sécher, et qu'on cuit ensuite comme le calcaire lui-même. Lorsqu'on n'a pas de calcaire délayable, on peut employer la chaux ordinaire de la localité, qu'on laisse éteindre à l'air; on en mêle ensuite la poussière avec des silicates argileux délayés ou broyés; on fait une pâte du tout avec un peu d'eau, et on forme comme précédemment des pains qu'on laisse sécher pour les recuire de nouveau. Ce procédé a l'inconvénient de la cherté à cause de la double cuisson.

Marbres. On nomme *marbres* les variétés de calcaire à grains fins susceptibles de poli, et qui, par leur blancheur, ou par leurs couleurs plus ou moins vives, peuvent être employées à la décoration des édifices ou dans l'ameublement (1). Il en existe en quelque sorte partout, et principalement depuis les dépôts jurassiques jusqu'aux calcaires siluriens; c'est dans les parties de ces dépôts qui avoisinent les terrains de cristallisation que se trouvent en général les variétés les plus riches en couleurs et les plus agréablement nuancées de veines.

On distingue de nombreuses variétés de marbres, à chacune desquelles on donne un nom particulier; et il suffit souvent aux marbriers du moindre accident pour imposer un nom à quelques plaques débitées dans le même bloc que beaucoup d'autres. Les plus beaux marbres se nomment *marbres antiques*, expression qui, dans le principe, indiquait des matières dont les carrières étaient perdues, et qu'on tirait des anciens monuments, mais qui, dans l'état actuel, s'applique aux variétés choisies parmi celles qu'on exploite journellement. Cet amour d'antiquité a fait souvent ramener à grands frais d'Italie des marbres que les Romains y avaient transportés de France, et dont les carrières sont encore connues.

(1) Les *marbres durs* sont des granites ou des porphyres.

Parmi les nombreuses variétés de marbre qu'on a établies, il faut principalement distinguer les suivantes :

1° Les *marbres simples*, qui, pour être estimés, doivent être exactement unicolores et de couleurs nettement décidées. Ce sont les *marbres blancs* statuaires qui nous viennent aujourd'hui de Carrare, sur la côte de Gênes; les *marbres noirs* de Dinan, de Namur, etc.; les *marbres rouges*, parmi lesquels on distingue surtout la *griotte d'Italie*, qu'on exploite encore près de Narbonne en Languedoc; les *marbres jaunes*, qu'on nomme jaune antique ou jaune de Sienne, etc.

2° Les *marbres simples veinés*, dont il existe beaucoup de variétés de tous les fonds de couleur. Les dépôts calcaires de la Flandre sont depuis longtemps en possession de nous en fournir un grand nombre, qu'on nomme *marbres de Flandre* et qu'on emploie très fréquemment à Paris. Un des plus communs est le *Saint-Anne* à fond gris et veines blanches; mais il en existe de beaucoup plus agréables à fond brun et rouge, à fond bleuâtre, etc. Parmi les belles variétés qui proviennent de différents lieux, on distingue le *grand antique* à fond noir et veines blanches nettement tranchées; le *portor*, à fond noir et veines jaunes; le *bleu turquin* à fond bleuâtre et veines plus foncées, dont le plus beau provient de Carrare; le *languedoc*, qui vient de Narbonne, à fond rouge et grandes veines, qu'on emploie pour les décorations monumentales, etc.

3° Les *marbres brèches*, qui ne sont souvent que des variétés de marbres veinés, dans lesquelles les veines coupent la masse de manière qu'elle semble composée de fragments réunis. Les plus renommés sont : le *grand deuil* et le *petit deuil*, qui offrent des éclats blancs sur un fond noir, et qu'on tire de l'Ariége, de l'Aude et des Basses-Pyrénées; la *brèche d'Aix*, ou *brèche de Tolonet*, à grands fragments jaunes et violets réunis par des veines noires, qu'on exploite à Aix en Provence; la *brèche violette*, à fond violet avec grands éclats blancs, un des marbres les plus riches, qui provient de la côte de Gênes, mais dont les carrières sont depuis longtemps épuisées.

4° Les *marbres composés*, qui proviennent généralement des lieux où les dépôts de sédiment sont enclavés dans les terrains de cristallisation; ils renferment des matières étrangères distribuées par feuillets, par paquets, ou disséminées. On distingue principalement les *marbres cypolin* de la côte de Gênes, qui renferment du mica verdâtre disséminé dans une pâte blanchâtre et saccharoïde; les *marbres campan* dans les Pyrénées, qui renferment des feuil-

lets ondulés de matières analogues de diverses couleurs dans des pâtes de calcaire compactes de diverses teintes. Enfin, les diverses variétés de *vert antique*, qui sont des marbres saccharoïdes, blancs ou verdâtres, mélangés de diallage et de serpentine (voyez les silicates) de couleur verte. Certaines variétés offrent des marbres de la plus grande beauté pour la décoration des édifices, et qui proviennent en général de la côte de Gênes.

5° Les *marbres lumachelles*, qui renferment des coquilles, des madrépores, etc. On distingue surtout des variétés à fond noir sur lequel se dessinent des taches de calcaire blanc, dont chacune est une coquille; on en tire de la Flandre et des environs de Narbonne. Le *petit granite*, ou marbre des Écaussines, près de Mons, qui couvre la plupart de nos meubles, et qui est rempli d'encrinites, en est un exemple commun.

Albâtres. — Nous avons déjà parlé, § 204, des albâtres calcaires. Ils proviennent des dépôts de stalactites et stalagmites qui remplissent les carrières des pays calcaires. On recherche surtout ceux qui sont d'un blanc légèrement jaunâtre, d'une belle demi-transparence, avec des veines d'un blanc laiteux : c'est là l'albâtre oriental ou albâtre antique. Viennent ensuite les variétés jaunâtres, présentant des zones de diverses teintes qui ne tranchent pas trop sur la masse : c'est ce qu'on nomme *albâtre veiné*, *marbre onyx*, *marbre-agate*, employés pour des revêtissements de chapelle, des objets de grand luxe monumental.

Pierres lithographiques; marnes. — Parlons d'applications plus humbles. La pierre lithographique est un calcaire compacte à grain fin et serré, capable de se laisser imbiber légèrement d'eau, et qui est fourni principalement par les dépôts jurassiques. Les pierres les plus renommées sont celles de Pappenheim, sur les bords du Danube, en Bavière; mais on en tire aussi de France, particulièrement de Châteauroux (Indre), de Belley (Ain), de Dijon, de Périgueux, etc.

Dans l'agriculture, les marnes, qui ont la propriété de se diviser facilement à l'air et de tomber en poussière, nous offrent des amendements extrêmement précieux, qu'il faut choisir suivant la nature du terrain : les marnes calcaires pour les terrains naturellement trop forts, et les marnes argileuses pour les terrains trop meubles. Il y a des marnes dans toutes les formations, mais particulièrement depuis les dépôts tertiaires jusqu'au calcaire conchylien ; au-dessous, ce sont plutôt des argiles que des marnes.

Aragonite.

§ 252. L'aragonite est chimiquement le même carbonate de chaux que celui dont nous venons de parler, mais cristallisé dans le système prismatique rectangulaire non susceptible de clivage. Cette matière est alors à cassure vitreuse très brillante; sa dureté est assez grande pour rayer fortement le calcaire. Au feu, l'aragonite cristallisée se délite et tombe en poussière; mais cette propriété diminue dans les variétés à fibres fines agglomérées, et disparaît complétement à mesure que les traces de cristallisation s'effacent : on retombe alors sur le calcaire ordinaire.

L'aragonite, qu'on trouve assez souvent en cristaux réguliers prismatiques à bases rhombes, diversement modifiées, se présente plus fréquemment encore en cristaux groupés, comme ceux que nous avons indiqués fig. 253 à 262. C'est cette substance que l'on trouve le plus souvent sous la forme coralloïde, fig. 322; on la rencontre aussi en petites masses bacillaires, fibreuses, qui offrent des passages à l'état compacte et même terreux, où dès-lors ce n'est plus que du carbonate de chaux ordinaire.

Cette substance se trouve principalement dans les gîtes de minerais de fer, dans les fentes des dépôts basaltiques et des roches serpentineuses, et en cristaux groupés dans les argiles gypseuses des dépôts salifères. Certains tufs calcaires, ceux de Vichy, par exemple, sont entièrement à l'état d'aragonite.

Dolomie.

§ 253. La dolomie a les plus grandes analogies avec le calcaire : seulement, le rhomboèdre de clivage est plus obtus, § 246. Le caractère distinctif le plus apparent est la lenteur de l'effervescence avec l'acide azotique, ce qu'elle a de commun avec la giobertite et la sidérose. La solution précipite d'abord abondamment à chaud par l'oxalate d'ammoniaque, puis elle se trouble de nouveau en refroidissant, et produit encore un précipité abondant. Le poids spécifique est 2,86 dans les variétés les plus pures.

Cette substance se trouve assez fréquemment en cristaux rhomboèdres semblables à celui du clivage, qui sont toujours assez simples; on ne la connaît pas sous d'autres formes, si ce n'est à l'état de légers dépôts cristallins sur des cristaux de calcaire. Les formes accidentelles, à l'exception des variétés mamelonnées ou globulaires, manquent également, et c'est en masses finement gra-

nulaires ou saccharoïdes, quelquefois compactes, qu'on la connaît principalement.

A l'état cristallin, la dolomie se trouve dans les gîtes métallifères, et c'est du Mexique que proviennent les plus belles variétés. En masses, elle se trouve en couches intercalées au milieu des terrains de granites et de micaschites, comme autour du Saint-Gothard, renfermant diverses substances disséminées, ou en relation avec des porphyres, des roches pyroxéniques, comme en Tyrol, ou des basaltes, comme au plateau de Larzac dans les Cévennes. Elle se présente fréquemment encore avec le calcaire pénéen (§ 160, *note*), qu'elle remplace complétement en Angleterre, puis dans les divers dépôts au-dessus et au-dessous du calcaire conchylien, dans le lias, dans les dépôts jurassiques, enfin dans la craie et les calcaires parisiens. On peut dire dès lors qu'elle existe à peu près partout, mais rarement en dépôts considérables par leur étendue.

Les diverses variétés sont à peu près sans emploi; on redoute même dans l'agriculture la chaux qui en provient, et ce n'est que depuis quelques années qu'on a reconnu que certaines variétés, mêlées de silicates, pouvaient donner des chaux hydrauliques, qui cependant n'ont pas la force qu'on a voulu leur attribuer.

Sidérose. — *Fer carbonaté, fer spathique, mine d'acier.*

§ 254. **Caractères.** — La sidérose est encore une matière qui présente peu de formes cristallines, et qu'on ne connaît qu'en rhomboèdres semblables à celui que produit le clivage, en petits rhomboèdres aigus, et en prismes hexagones. Fréquemment elle est sous la forme lenticulaire.

Le poids spécifique va jusqu'à 3,81. La calcination produit une matière noire ou rouge, qui fond en globules noirs attirables à l'aimant. La solution, qui se fait lentement à froid, donne un précipité adondant par le cyanure ferro-potassique.

On trouve quelquefois la sidérose en masses réniformes, en petits dépôts mamelonnés, dans les cavités des roches basaltiques, et aussi sous la forme de tiges de plantes, ou avec des impressions de fougères, dans les grès houillers. Elle est fréquemment en masses lamellaires à grandes ou à petites lames, quelquefois granulaire ou oolitique, et alors assez semblable à la limonite en grains, § 161. Dans d'autres cas elle est compacte ou même terreuse, et alors plus ou moins mélangée de matières étrangères.

Gisement. — A l'état de cristaux, cette matière se présente dans différents gîtes métallifères. Les variétés lamellaires en masses, qu'on nomme plus particulièrement *fer spathique*, se trouvent en filons et en amas dans les terrains de cristallisation, ou dans les calcaires de différents âges qui les recouvrent immédiatement; les variétés réniformes, compactes, terreuses, plus ou moins salies par des matières étrangères, appartiennent au terrain houiller et y forment souvent des dépôts assez considérables, soit dans les grès, soit au milieu des couches de houille. Les variétés oolitiques appartiennent aux formations jurassiques.

Usages. — La sidérose offre encore des minerais de fer importants, et qui sont assez communs dans diverses contrées. En France on exploite les minerais spathiques à Allevard en Dauphiné, à Baigory, Vicdessos, etc., dans les Pyrénées; ils sont généralement traités par une méthode particulière, qu'on nomme *méthode catalane*, au moyen de laquelle on obtient immédiatement du fer sans passer par l'état de fonte. Mais il y a du choix dans ces minerais, et l'on croit remarquer que ceux qui renferment de la magnésie donnent de mauvais fer. Les variétés qui sont plus ou moins décomposées sont les meilleures. Celles qui renferment de l'oxyde de manganèse donnent des fers qui se transforment facilement en acier, et de là le nom de *mine d'acier*.

Les variétés compactes et terreuses du terrain houiller offrent un excellent minerai, et d'autant plus précieux qu'il se trouve auprès du combustible qui convient le mieux à son traitement. Ce sont les seules qu'on exploite en Angleterre; on les traite aussi en France aux environs de Saint-Etienne, et à Aubin dans l'Aveyron. Les variétés oolitiques des terrains supra-jurassiques sont employées à Hayanges, dans la Moselle, et dans plusieurs usines de la Côte-d'Or et de la Marne.

Smithsonite. — *Zinc carbonaté, zinc oxydé, calamine.*

§ 255. Rarement en cristaux, qui sont toujours très petits; quelquefois en stalactites ou sous des formes empruntées au carbonate de chaux, ou bien en masses compactes.

A la calcination, ce minéral donne une fumée blanche qui se dépose autour de la pièce d'essai. La solution, qui se fait avec une vive effervescence dans l'acide azotique, donne, par l'ammoniaque, un précipité qui se redissout par un excès de cet alcali.

Les variétés cristallines ou stalactiques se trouvent dans divers gîtes métallifères; mais les variétés en masses forment des couches

avec le silicate de zinc dans les terrains de sédiment, depuis la formation carbonifère jusqu'au lias. C'est dans ce dernier qu'il se trouve particulièrement en France, à Combecave (Lot), à Montalet près d'Uzès, à Saint-Sauveur en Languedoc, etc. Ces minerais sont exploités, dans diverses localités, en même temps que le silicate. (Voyez Calamine.)

§ 256. La *zinconise*, carbonate hydraté, se trouve en petite masse terreuse dans les mines de plomb de Bleyberg en Carinthie.

Malachite et azurite. — *Vert de montagne, cendre verte, cuivre azuré, azur de cuivre, bleu de montagne.*

§ 257. L'une de ces substances est verte, et cristallise en prismes rhomboïdaux droits ; l'autre est bleue et présente des prismes obliques. Toutes deux donnent de l'eau par calcination et noircissent ; leur solution précipite du cuivre abondamment. La première est un simple carbonate hydraté ; la seconde est un bicarbonate combiné avec un hydrate de la même base.

Il faut joindre à ces deux espèces un carbonate anhydre, brun, comme tous les sels de cuivre anhydres, et qui a été observé dans l'Inde, au pays de Mysore.

La malachite, qui se trouve rarement sous sa forme cristalline naturelle, se présente souvent en cristaux octaèdres diversement modifiés, qui proviennent de la décomposition du protoxyde. Elle se montre aussi en prismes obliques, fibreux à l'intérieur, qui résultent de la décomposition de l'azurite. Du reste, elle se trouve en petites masses mamelonnées ou stalactiques, souvent fibreuses à l'intérieur, et montrant en outre des couches d'accroissement qu'on distingue par la variation des teintes. Quelquefois elle est pulvérulente et alors fréquemment mélangée avec des matières terreuses et sableuses.

L'azurite est au contraire presque toujours cristallisée ou en boules formées de cristaux groupés. On la trouve aussi à l'état terreux, et souvent alors plus ou moins mélangée de matières étrangères. Ce qu'on appelle la *pierre d'Arménie* n'est qu'un de ces mélanges, qui est compacte et assez dur.

Ces deux substances sont en général des matières subordonnées aux gîtes métallifères cuivreux. La malachite se trouve quelquefois en masses assez abondantes dans les mines des monts Ourals en Sibérie. L'azurite s'est trouvée, pendant un temps, en abondance à Chessy, près de Lyon, dans les grès bigarrés.

Les variétés stalactitiques fibreuses de malachite, lorsqu'elles composent des masses suffisamment volumineuses, sont débitées en feuilles minces, dont on fait des placages en pièces de rapport pour construire des tables, des vasques, des chambranles de cheminée, etc., qui sont d'une rare beauté.

Dans les lieux où les carbonates de cuivre sont abondants, on les emploie avec les autres minerais pour la préparation du cuivre : c'est une mauvaise manière d'en tirer parti ; il vaudrait beaucoup mieux en fabriquer des sels de cuivre, et surtout le sulfate, dont on se sert fréquemment en teinture.

Natron et urao. — *Soude, alcali minéral, soude carbonatée.*

§ 258. Le natron, tel qu'il se trouve dans la nature, est une matière effleurie, d'une saveur caustique et urineuse. Il est soluble dans l'eau, d'où il se dépose ensuite en cristaux qui renferment une plus grande quantité de ce liquide à l'état de combinaison. Ces cristaux retombent promptement en poussière à l'air.

L'urao est au contraire cristallisé en prismes obliques rectangulaires. Sa saveur est moins caustique, et il est peu altérable à l'air. Il se présente en masses granulaires et quelquefois fibreuses.

La première de ces espèces se trouve à la surface de la terre dans les plaines basses de nos continents, aux environs de certains lacs dont les eaux en renferment toujours une certaine quantité. Elle est abondante dans les temps secs, et couvre la terre d'efflorescences qui ressemblent à de la neige ; c'est ainsi qu'on la voit dans les plaines de la Hongrie autour de Debreczin, dans la vallée des lacs de Natron en Egypte, dans l'Arabie, dans l'Inde, etc.

L'urao forme des dépôts solides dans les matières argileuses de formation assez moderne. On le connaît à cet état en Colombie, autour du village de Lagunilla, à une journée de Mérida, et il renferme disséminés des cristaux de gay-lussite. Il paraît qu'il se trouve de même en Afrique dans le Fezzan, sur le bord du grand désert, et probablement dans la vallée des lacs de Natron, à vingt lieues du Caire ; du moins en tire-t-on de cette dernière localité des masses considérables qui sont inaltérables à l'air, et dont on a même bâti des murailles qui se conservent dans ces contrées sèches. Il est à présumer que c'est de sa décomposition que provient l'espèce qu'on nomme natron.

Les carbonates de soude se trouvent quelquefois aussi en efflorescences à la surface des laves et des scories dans les volcans actifs. Il en existe en solution dans un assez grand nombre d'eaux

minérales, parmi lesquelles on doit citer particulièrement celles de Vichy en Auvergne et de Contrexeville dans les Vosges.

Ces sels de soude sont des matières importantes dans tous les lieux où elles se trouvent, pour la fabrication du savon et pour les verreries. Il s'en faisait autrefois une grande importation en France, et particulièrement de l'Egypte, pour cet objet ; mais aujourd'hui tout ce qui nous est nécessaire est préparé artificiellement par la décomposition du sel marin. Il en est de même dans presque toutes les parties de l'Europe.

Carbonates divers.

§ 259. Les autres carbonates appartiennent la plupart aux gîtes métallifères, et sont toujours en petites quantités. La *céruse*, la *withérite*, la *strontianite*, appartiennent plus spécialement aux dépôts de minerais de plomb ; elles ont entre elles une très grande analogie ; et se trouvent tantôt en cristaux, tantôt en petites masses aciculaires, fibreuses, compactes, quelquefois terreuses. La céruse est la plus abondante, et offre les cristaux les plus nets et les plus variés ; elle présente surtout un grand nombre de groupes comme ceux que nous avons indiqués fig. 261 à 263.

C'est aussi dans les minerais de plomb de Leadhills en Écosse que se trouvent les carbonates de plomb sulfatifères, en petits cristaux plus ou moins distincts, dont les formes ne peuvent se rapporter à la céruse. C'est dans les mêmes gisements qu'on rencontre aussi la *stromnite* et la *baryto-calcite*.

La *giobertite* se trouve en rhomboèdres simples, disséminés dans les silicates magnésiens désignés sous le nom de talc ; la *némalite*, matière terreuse, est en petites veines dans les serpentines, ainsi que les autres carbonates hydratés de la même base.

BORIDES.

Corps donnant immédiatement à l'alcool la propriété de brûler avec une flamme verte, ou laissant après l'action de l'acide azotique une matière qui possède cette propriété.

§ 260. Nous n'avons à parler ici que d'un très petit nombre de substances, savoir :

1° L'*acide borique hydraté*, ou Sassoline, qui se trouve en solution dans les eaux qui proviennent des fumaroles de Toscane, § 227, dans lesquelles il cristallise, et qu'on rencontre aussi en petites masses mélangées de soufre dans le cratère de Vulcano. Il est à l'état

d'hydrate, qui ne renferme que 56 pour 100 d'acide sec. On le récolte et on l'emploie aujourd'hui pour la fabrication du borax.

2° Le Borax, ou borate de soude, que l'on dit tout formé dans les eaux de certains lacs de l'Inde, ou en petites couches cristallines à quelques pieds de profondeur dans les terres meubles. On le cite aussi à Ceylan, en Perse, dans la Tartarie méridionale, et en solution dans les eaux de certaines mines du Potosi. C'est de l'Inde qu'est venu tout le borax en Europe jusqu'au moment où l'on en a fabriqué avec l'acide borique de Toscane. Ce sel sert de fondant dans diverses opérations de petite métallurgie.

3° La Boracite, ou borate de magnésie, qui cristallise en cubes remarquables par leur défaut de symétrie, § 45. Cette substance, peu commune, se trouve en cristaux disséminés dans le gypse de Lunebourg en Brunswick, et de Segeberg en Holstein.

4° Des borosilicates de chaux qui se trouvent dans le fer magnétique d'Arendal en Norwége, l'un, cristallisé en prismes rhomboïdaux droits, et un autre en petites masses botryoïdes. (Voyez les Silicates borifères.)

GROUPE DES SILICIDES.

Corps composés de silice, soit seule, soit combinée avec divers oxydes.

Fusibles avec le sel de soude et attaquables ensuite par l'eau ou les acides; solution acide donnant une grande quantité de silice, soit immédiatement, soit après l'évaporation et le traitement subséquent par l'eau.

§ 261. Ce groupe, qui ne renferme cependant que la silice et ses combinaisons avec diverses bases, est le plus étendu de tout le règne minéral. Il renferme aujourd'hui plus de deux cents espèces qu'on peut assez bien définir, et peut-être autant qu'on est sur la voie de reconnaître. Tous les jours, l'examen chimique des matières minérales fait découvrir de nouvelles combinaisons. Il en est ici de la silice et des diverses bases comme du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène, dont les combinaisons, dans les matières dites organiques, peuvent s'effectuer sous un nombre presque infini de rapports déterminés.

Les substances qui entrent dans ce groupe ont un assez grand nombre de caractères physiques communs, et qui servent souvent à les reconnaître au premier moment. La plupart offrent l'éclat vitreux, du moins dans les variétés cristallisées; il n'en est aucune qui offre l'éclat métallique. Leur dureté est presque toujours considérable; un grand nombre raient le quarz, et presque toutes les autres raient ou usent le verre lorsqu'elles sont cristallisées. On ne peut guère les confondre sous ces différents rapports qu'avec

les fluosilicates topaze et picnite, le borosilicate datholite, le corindon et les spinelles, § 220, 221, 151, 153.

C'est aux terrains de cristallisation qu'appartiennent la plus grande partie de ces corps ; un petit nombre y forment, à eux seuls, des dépôts plus ou moins considérables ; quelques uns, en se réunissant d'une manière remarquable par la constance, constituent des roches qu'on nomme, à cause de cela, *roches composées*. La plupart des autres sont disséminés, ou en noyaux, dans diverses roches. Il y en a peu dans les terrains de sédiment.

Nous avons déjà indiqué plusieurs pierres employées dans la bijouterie et la joaillerie. C'est à la famille des silicides qu'appartiennent toutes les autres, tant celles qui conservent encore un prix élevé que quelques unes plus communes qui sont cependant employées fréquemment.

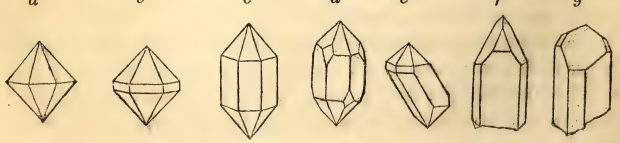
Dans l'impossibilité de décrire ici toutes les espèces qui appartiennent à ce groupe, nous choisirons celles qui sont les plus abondantes à la surface du globe, et sur lesquelles il est indispensable d'avoir quelques idées générales.

Silice pure.

Matières infusibles seules ; insolubles dans les acides, mais rendues solubles par la fusion avec l'alcali. Solution ne renfermant rien ou presque rien après la séparation de la silice.

Quarz, calcédoine et opale. — *Cristal de roche*, *agate*, *silex*, etc.

§ 262. **Caractères du quarz.** — De ces trois matières et de toutes leurs variétés, le quarz seul est susceptible de cristallisation. C'est une substance vitreuse, non altérable au feu, qui se rattache au système rhomboédrique, dont les cristaux offrent toujours des dodécaèdres à triangles isocèles, soit simples, fig. *a*, soit avec les faces du prisme hexagonal, *b* et *c*, et diverses modifications non symétriques aux angles *d*. Le plus souvent les cristaux sont extrêmement déformés par l'élargissement de quelques unes de leurs faces, soit comme fig. *e*, soit, et plus fréquemment, comme fig. *f* et *g*.



Le quarz se présente aussi sous des formes empruntées au carbonate de chaux scalénoèdre, au fer oligiste rhomboèdre, ou à la fluorine octaèdre. Nous avons déjà indiqué l'agglutination cristalline des sables quarzeux par du carbonate de chaux, § 66 ; mais un autre genre d'agglutination des sables a lieu par les coups de foudre, qui y produisent, en les traversant, des tubes plus ou moins irréguliers, qu'on nomme *fulgurites*, et qui se prolongent quelquefois fort loin dans la terre.

On trouve aussi le quarz en petites masses bacillaires ou fibreuses; mais fréquemment il est en grande masse compacte, tantôt transparent et limpide, tantôt plus ou moins opaque. Ailleurs les masses ont une sorte de structure grenue, peu distincte, et passent à l'état lithoïde. Enfin, on trouve le quarz sous la forme de sables plus ou moins agglutinés, plus ou moins purs, dont le grès du pavé de Paris nous offre un bel exemple.

Naturellement incolore, le quarz prend souvent des couleurs plus ou moins vives, par des mélanges de matières étrangères, tantôt en conservant sa transparence, tantôt en devenant opaque. Il se mélange ainsi de peroxyde de fer, d'hydrate jaune de ce peroxyde, ou d'argile ferrugineuse, rouge et jaune, et de matière amphibolique, ou chloritique (1), qui le colore en vert. L'*améthyste* est un quarz transparent violet, coloré par l'oxyde de manganèse; il y a aussi des quarz transparents de diverses teintes jaunes, des quarz bruns ou enfumés, etc.

§ 263. **Caractères de la calcédoine.** — La calcédoine, l'agate, la cornaline, le silex, sont toutes des matières de même nature, et entièrement siliceuses. Elles ont toutes pour caractère de blanchir au feu, et de s'y désagréger même entièrement. Elles n'offrent pas de traces de cristallisation extérieures, et ne présentent aucun signe de double réfraction lorsqu'elles sont réduites en lames qu'on puisse considérer comme homogènes; par conséquent elles ne sont pas non plus cristallisées à l'intérieur, et doivent être considérées comme une agglutination mécanique de particules siliceuses. Elles sont plus tenaces que le quarz et font plus facilement feu avec le briquet. Leur éclat, plutôt lithoïde que vitreux, a toujours quelque chose de gras ou de céroïde; quelques variétés, qui se rapprochent de l'opale par un éclat résineux, sont en partie attaquées par la potasse caustique lorsqu'elles sont réduites en poudre fine.

La calcédoine a souvent des formes empruntées; elle incruste

(1) Voyez plus loin les amphiboles, chlorites, micas, etc.

quelquefois des cristaux de quarz d'une pellicule plus ou moins épaisse, et en présente entièrement la forme. Ailleurs elle est substituée à différents cristaux de calcaire; plus souvent elle est sous la forme de branches de bois, de polypiers, dont elle conserve tout le tissu, ou bien se trouve moulée dans les cavités des coquilles ou des échinides. Elle se trouve en petites stalactites, en rognons plus ou moins volumineux, quelquefois creux à l'intérieur, tapissés ou remplis de cristaux de quarz, et renfermant des matières terreuses.

La calcédoine, translucide ou opaque, est tantôt incolore, tantôt colorée par suite du mélange de quelques matières étrangères. Les variétés translucides portent fréquemment le nom d'*agate;* celles qui sont en même temps colorées portent les noms de *sardoine* lorsqu'elles sont jaunâtres ou brunâtres, et de *cornaline* lorsqu'elles sont rouges, couleur qui est due à des matières organiques, § 101. Lorsque diverses couleurs se trouvent réunies par zones ou par bandes, la matière prend fréquemment le nom d'*onyx*. Quelquefois la matière colorante se trouve en dendrites, et il en résulte les *agates herborisés*.

Les *jaspes* sont des calcédoines opaques mélangées de diverses matières étrangères qui les colorent; ces matières sont le peroxyde de fer ou son hydrate, tantôt purs, tantôt mélangés d'argile, ou bien des silicates de couleur verte : c'est ce qui produit les jaspes rouges, jaunes, verts, etc., de diverses variétés, où les couleurs sont tantôt uniformément répandues, tantôt disposées par bandes, par zones, par taches, etc. Les jaspes calcédoniens se distinguent des quarz colorés opaques, qui leur ressemblent souvent, en ce qu'ils se désagrègent au feu. Il faut remarquer aussi que quelques jaspes qui renferment une grande quantité d'argile ferrugineuse, ou de calcaire, ce qui arrive quelquefois dans les silex des parties supérieures des terrains secondaires, deviennent fusibles au chalumeau; circonstance qui les a fait quelquefois confondre avec d'autres substances.

La *pierre meulière* n'est qu'une variété lithoïde et opaque de calcédoine, souvent criblée de cavités irrégulières qui lui ont valu le nom de *silex carié*.

Silice pulvérulente. — Dans les cavités de certains dépôts siliceux, ou dans les rognons de silex, on trouve assez souvent de la silice en poussière fine. Il existe aussi des rognons à texture très lâche, qui semblent être formés par des matières pulvérulentes agrégées, et qui sont assez légers pour nager sur l'eau comme la ponce, ce qui leur a fait donner le nom de *silex nectique*.

Fréquemment aussi les rognons siliceux de la craie ont à la partie extérieure une couche plus ou moins épaisse de matière siliceuse opaque, blanche, peu agrégée, tandis que le centre est compacte et solide. Quelquefois on trouve plusieurs couches alternatives de matières solides et de matières pulvérulentes.

§ 264. **Caractères de l'opale.** — Comme la calcédoine, l'opale blanchit au feu, mais elle donne toujours alors une quantité notable d'eau. Elle est le plus souvent attaquable par la potasse caustique, précisément comme les précipités gélatineux encore hydratés que nous formons dans les laboratoires. Elle n'offre aucune trace de cristallisation ni de double réfraction. Beaucoup moins tenace que la calcédoine, elle donne moins d'étincelles par le choc du briquet. L'éclat est presque toujours plus ou moins résineux.

L'opale se présente quelquefois en petites stalactites ou en mamelons limpides et nacrés. Plus souvent elle est sous forme de rognons plus ou moins volumineux, ou sous la forme de branches d'arbres dont elle conserve aussi la structure. Certaines sources minérales renferment de la silice, qu'elles déposent çà et là en produisant de l'opale incrustante plus ou moins grossière.

Quelquefois l'opale est sensiblement pure, et présente alors plus ou moins de transparence ou d'opacité. Certaines variétés demi-transparentes offrent dans leur intérieur des couleurs irisées extrêmement vives, qui les font rechercher et en rendent le prix très élevé. Souvent aussi l'opale se colore par des mélanges de matières étrangères, et les variétés opaques, mélangées d'oxyde de fer, d'argile ferrugineuse, de matière verte, etc., forment ce qu'on nomme les *jaspes-opales* ou les *jaspes-résinites*.

On rencontre aussi des hydrates de silice, véritables opales, à l'état gélatineux, ou pâteux et presque pulvérulent, qui sont quelquefois susceptibles de se délayer dans l'eau. Il y a des circonstances où l'opale semble avoir été altérée, où les rognons, les fragments, sont devenus blancs à la surface, se sont même réduits en poussière qui a dès lors perdu toute son eau. Quelques variétés reprennent par imbibition dans l'eau le liquide qu'elles ont perdu et en même temps leur translucidité; ces variétés se nomment *hydrophanes*.

Il paraît, sous le rapport de la composition, qu'il y a plusieurs hydrates très différents les uns des autres par les quantités d'eau qu'ils renferment, et qui formeront peut-être autant d'espèces par la suite.

§ 265. **Gisement du quarz.** — On peut admettre généralement que le quarz proprement dit appartient aux terrains de cristallisa-

tion ; il y forme à lui seul des filons considérables qui traversent toutes les roches, des amas étendus, des couches puissantes, où il est tantôt limpide, à l'état vitreux, tantôt plus ou moins opaque avec une sorte de texture grenue. Dans d'autres cas, il est mélangé de mica, qui s'y trouve par paquets, ou disséminé plus ou moins uniformément ; ce sont alors des roches composées, qu'on a nommées *hyalomictes*, et qu'on distingue en *granitoïdes* lorsqu'elles ont l'apparence du granite, et *schistoïdes* lorsque le mica, disposé en petites couches, donne à la masse une structure schisteuse. Lorsque le mica est très abondant, en feuillets distincts qui alternent avec des feuillets de quarz, c'est le *micaschiste*.

Le quarz est aussi une partie essentielle du *granite*, où il se trouve réuni non seulement au mica, mais encore au feldsphath, le tout mélangé plus ou moins uniformément par petites parties. On nomme *protogyne* une sorte de granite qui se trouve en abondance dans les Alpes, où le mica est en général très magnésien. On nomme *pegmatite* un granite où les trois éléments forment des espèces d'amas distincts, réunis et accolés les uns aux autres.

Dans les terrains de cristallisation on trouve souvent des fentes, des cavités irrégulières, où le quarz a cristallisé ; c'est ce qu'on nomme des *fours* ou *poches à cristaux*, et c'est là qu'on récolte les groupes de quarz cristallin qui décorent les collections.

Dans les terrains de sédiments, le quarz forme çà et là quelques filons qui traversent plusieurs dépôts de bas en haut ; mais il ne se montre plus en couches qu'à l'état sableux, plus ou moins agglutiné, où il est tantôt assez pur, tantôt mélangé de matières étrangères, ou sali par de la limonite, etc. Si çà et là on rencontre encore du quarz cristallisé dans les dépôts sédimentaires, c'est en petits cristaux qui tapissent les cavités des amas de calcédoine ou des matières argilo-siliceuses qui séparent les bancs calcaires. Il est à remarquer que dans les dépôts sédimentaires enclavés au milieu des terrains de cristallisation, les couches sableuses sont remplacées par des quarz compactes, tantôt purs, tantôt plus ou moins micacés comme les hyalomictes.

§ 266. **Gisement de la calcédoine.** — La calcédoine est beaucoup moins abondante dans les terrains de cristallisation, où elle est quelquefois en filons ; mais à l'état de jaspe, elle forme aussi des couches peu épaisses qui alternent un grand nombre de fois avec des matières amphiboliques, diallagiques et serpentineuses (voyez ces mots). Elle se trouve en rognons plus ou moins volumineux, fréquemment à couches concentriques, dans certaines roches, en dépôts ou en buttes isolées, qu'on a nommées *amygdaloïdes*, parce

que les rognons de diverses substances s'y présentent comme des amandes enfermées dans une pâte.

En rognons opaques, où la matière prend plus particulièrement le nom de *silex*, elle est très abondante dans les diverses couches calcaires ou marneuses de toutes les époques. Mais c'est particulièrement dans la craie que ces rognons sont nombreux et quelquefois très volumineux, souvent très étendus en largeur, et ressemblant alors à de petites couches; ils sont réunis par lits horizontaux, qui se répètent souvent un grand nombre de fois, à des intervalles de 2 ou 3 mètres, comme on le remarque surtout dans les falaises qui bordent le canal de la Manche.

Pierre meulière. — Dans les terrains tertiaires on trouve des dépôts assez étendus de *pierre meulière*. Il en existe d'abord dans la partie inférieure, dans ce qu'on nomme le calcaire siliceux, comme dans toute la Brie, où l'on ne trouve pas de débris organiques; plus haut, sur la plupart des plateaux des environs de Paris, il s'en trouve des amas qui reposent sur les sables quarzeux par lesquels se termine la masse principale de nos collines; celles-ci renferment fréquemment des lymnées, des planorbes, etc., qui sont des coquilles d'eau douce.

§ 267. **Gisement de l'opale.** —C'est encore dans des positions un peu différentes que se trouve l'opale. On rencontre la plus grande partie des variétés dans les débris des terrains trachytiques, comme autour du Mont-Dore, dans le Siebengebirge, en Hongrie, dans les monts Euganéens, au Mexique, etc. Les roches trachytiques elles-mêmes en renferment aussi, les unes de petites veines, les autres des nids; on en trouve quelquefois encore dans les dépôts basaltiques, et aussi en rognons plus ou moins volumineux, ordinairement assez pure, dans des roches amygdaloïdes, comme on le voit particulièrement à l'île Fero.

Hors de ces gisements l'opale forme des filons dans les dépôts de serpentine et de diallage, où elle offre ordinairement des variétés blanches, translucides ou opaques; c'est ce qu'on observe particulièrement à Mussinet, Baldissero, etc, en Piémont, à l'île d'Elbe, en Silésie, etc. On en trouve aussi dans les parties supérieures des terrains de sédiment, soit en nids dans les calcaires fluviatiles, comme dans l'Orléanais, à Gergovia en Auvergne, soit en rognons dans les couches marneuses des environs de Paris, où la matière est bleuâtre à la surface et brune dans l'intérieur, comme par exemple à Ménilmontant, d'où est venu à ces variétés le nom de *ménilite*. Fréquemment aussi l'opale est alors mélangée de marne, qui la rend blanche et complétement opaque, comme les

silex des mêmes localités, et comme eux susceptible de se fondre au chalumeau.

Il y a aussi des *tufs d'opale* qui sont produits par les eaux de certaines sources, comme les eaux thermales de l'Islande, qui ont formé des dépôts de trois ou quatre mètres d'épaisseur, étendus sur d'assez grands espaces; il s'en trouve de même à l'île Saint-Michel, dans les Açores. Plusieurs sources minérales en déposent également de petites quantités, et l'on en a trouvé ainsi dans les conduits des eaux minérales du Mont-Dore en Auvergne. Probablement les dépôts de silice terreuse et légère de Randanne et de Ceyssat, également en Auvergne, ont été produits de la même manière. Ce sont sans doute aussi des eaux thermales chargées d'opale qui ont donné naissance aux nids et filons de cette nature qu'on trouve dans certains grès (voyez les Arkoses en Géologie), et qui ont fourni la pâte opaline qui en réunit çà et là les fragments.

§ 268. **Usage des matières siliceuses.** — Les variétés limpides de quarz ont été autrefois travaillées comme objets de luxe; on en faisait des coupes, de petits vases, divers ornements, des lustres, etc.; mais tous ces objets, fort chers à cause de la difficulté du travail, sont aujourd'hui passés de mode, et leur fabrication est tombée depuis l'introduction de l'espèce de verre nommée *cristal*, qui est à la fois plus limpide, plus éclatant et plus facile à travailler. On n'emploie plus guère que l'améthyste, surtout lorsque, mélangée avec le quarz blanc, elle produit des dessins en zigzag; on l'associe souvent alors avec les mélanges de fluor et de quarz pour composer en pièces de rapport de jolis guéridons. On emploie aussi l'améthyste dans la joaillerie, et elle est même d'un prix assez élevé lorsque la pierre est grosse, d'une couleur foncée et bien uniforme; elle est alors recherchée pour les bagues d'évêque. Les teintes claires n'ont de valeur que quand les pierres réunies dans une parure sont exactement de la même teinte, ce qu'il faut choisir dans un très grand nombre de pierres taillées. Certaines variétés de quarz, mêlées d'asbeste à fibres parallèles, et connues sous le nom d'*œil-de-chat*, § 97, sont quelquefois d'un assez grand prix. L'*aventurine*, qui est le plus souvent une variété d'hyalomicte, où de petites paillettes de mica très brillantes sont uniformément disséminées, est encore assez recherchée en plaques; il y en a une autre, moins belle, qui est un quarz grenu coloré, dans lequel quelques cristaux, autrement tournés que les autres, brillent d'un plus grand éclat. On taille aussi en pierres à facettes les diverses variétés de quarz coloré, mais qui n'ont point de va-

leur. Ces pierres nous arrivent aujourd'hui du Brésil toutes taillées, et à des prix extraordinairement bas.

Les dépôts arénacés des diverses époques sont employés pour faire des meules à polir ou à aiguiser, des pierres à aiguiser plus ou moins grossières. Certaines variétés assez solides, à gros grains, sont employées comme meules à moudre le grain. Les sables blancs et purs servent dans les verreries pour fabriquer le verre blanc. Les sables siliceux, quels qu'ils soient, sont partout mélangés avec les argiles pour la fabrication des poteries communes.

Les variétés de calcédoine, comme la sardoine, la cornaline, l'agate herborisée, ont été souvent fort recherchées, mais n'ont aujourd'hui que peu de valeur. Une autre variété, connue sous le nom de *chrysoprase*, qui, avec la demi-transparence, offre une jolie teinte verte, qu'elle doit à un silicate de nickel, est la seule qui soit encore demandée, et d'un prix élevé : elle fait de charmantes parures avec des entourages de diamants.

On emploie particulièrement les diverses variétés de calcédoine pour la gravure sur pierres fines; les onyx sont surtout recherchées pour les camées, et l'on exécute alors le petit bas-relief sur l'une des couches, en laissant l'autre pour le fond.

Un des emplois les plus importants, mais qui baisse encore aujourd'hui de plus en plus depuis l'usage des poudres fulminantes, est celui des silex pour la fabrication des pierres à fusil. Nous possédons en France les meilleures variétés pour cet usage, et pendant longtemps on en a exporté une très grande quantité, mais ce commerce a ensuite été prohibé. Nos plus grandes fabrications sont dans le département de Loir-et-Cher.

Le silex molaire, ou pierre meulière, est aussi une matière importante, non seulement comme excellente pierre à bâtir pour les constructions qui demandent de la solidité, mais encore pour la confection des meules de moulin, pour lesquelles aucune autre matière ne peut être mise en comparaison. Il s'en fait une grande quantité dans le bassin de Paris, d'où elles sont transportées dans tous les points de la France, et même en pays étranger. Les plus renommées sont celles de La Ferté-sous-Jouarre dans le département de Seine-et-Marne.

L'opale n'est employée que comme objet d'agrément. Les variétés irisées, qui sont souvent d'un très haut prix, sont très recherchées dans la joaillerie; on taille quelquefois aussi certaines variétés jaunâtres, qu'on nomme *opale de feu* et *girasol*. Les bois pétrifiés et opalisés, surtout les palmiers, sont quelquefois taillés en cachets, en boîtes etc.

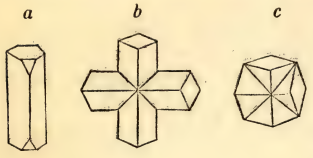
Silicates alumineux simples.

Solution, privée de silice, donnant par l'ammoniaque un précipité floconneux abondant et attaquable par la potasse caustique.

§ 269. **Staurotide et disthène.** — Les silicates alumineux sont tantôt anhydres, tantôt hydratés, ou hydratifères. Ces derniers se distinguent surtout en ce que les acides leur enlèvent facilement une certaine quantité d'alumine.

Dans les silicates anhydres, il faut remarquer la *staurotide* et le *disthène*, substances disséminées, assez communes dans les terrains de cristallisation, et surtout dans les micaschistes.

La staurotide, de couleur brune, tantôt transparente, tantôt opaque, difficilement fusible, est en général cristallisée, et en prismes rhomboïdaux plus ou moins modifiés, fig. *a*, fréquemment en groupes cruciformes, *b* et *c*.



Le disthène, fréquemment de couleur bleue, ce qui lui a valu le nom de *cyanite*, est totalement infusible; il se trouve en cristaux prismatiques allongés, minces, mal conformés au sommet, ou en petites masses bacillaires.

Ces deux substances sont réunies dans les micaschistes du Saint-Gothard; la staurotide se trouve seule en Bretagne, dans les schistes argileux, et le disthène seul dans les roches quarzeuses du Tyrol.

§ 270. **Silicates hydratés.** — Tous les silicates hydratés sont des matières compactes, très tendres, quelquefois translucides et d'un éclat résineux, le plus souvent opaques et ternes, passant à l'état terreux. On n'en connaît pas de cristallisés, et ce n'est que par l'analyse qu'on peut les distinguer les uns des autres. Ils se trouvent en petits nids dans certains dépôts métallifères, en noyaux dans des roches amygdaloïdes, en rognons dans les calcaires, ou dans les matières arénacées qui en séparent les couches : quelquefois ils forment des amas assez considérables, ou des espèces de filons dans ces dernières. Ils constituent, en grande partie, les dépôts argileux qu'on trouve dans les terrains de sédiment, où fréquemment ils sont mêlés de matières sableuses plus ou moins abondantes. C'est à ce groupe qu'appartiennent la plupart des matières qu'on nomme *argiles*, ainsi que les terres labourables désignées sous le nom de *terre forte*, de *terre franche*, etc.

§ 271 **Emploi des argiles.** — Les silicates alumineux hydratés

terreux, qui se trouvent en dépôts assez considérables à la surface de la terre, sont des matières éminemment utiles. D'un côté, ils arrêtent les eaux de pluie qui filtrent dans les terrains de sédiment, et les forcent d'aller s'écouler au jour sous la forme de sources, § 226. D'un autre côté, ils sont employés à un grand nombre d'usages, et surtout à la fabrication des briques et des diverses sortes de poterie, objet d'une haute importance, qui procure l'existence à un nombre infini de familles. Les argiles grossières servent pour les poteries communes; d'autres, plus pures, sont employées pour les *terres de pipe* ou *terres anglaises*, et une sorte de porcelaine commune d'un excellent usage. Les belles porcelaines sont fabriquées avec une terre particulière résultant d'une décomposition des feldspaths, et qu'on nomme *kaolin*.

Les *terres à foulon* ne sont encore que des argiles calcarifères, grasses au toucher, et se polissant sous l'ongle, qui se délatent dans l'eau et s'y délaient en rendant ce liquide plus ou moins savonneux. Elles sont de la plus grande importance pour les fabriques de draps, où on les emploie pour débarrasser les tissus de l'huile dont on a été obligé d'imbiber la laine pour la travailler. En France, les terres à foulon les plus renommées sont celles d'Issoudun (Indre), de Villeneuve et de Septème (Isère), de Flavin (Aveyron), de Rittennau en Alsace.

La *pierre à détacher* qu'on vend à Paris est une argile calcarifère de la formation gypseuse, § 204, qu'on emploie tantôt seule, tantôt mélangée avec un peu de carbonate de soude, qui lui donne la propriété de raviver les couleurs altérées par les acides.

Les allophanes et les halloysites, qui sont abondantes dans quelques localités, comme celles de Beauvais et de Bayonne, pourraient être employées avec avantage pour la fabrication du sulfate d'alumine pur, qui est si important dans l'art de la teinture.

Silicates alumineux doubles.

Solution acide renfermant diverses matières en même temps que l'alumine, et précipitant dès lors par divers réactifs.

§ 272. Cette division renferme un nombre immense de corps, dont nous n'avons cité que les plus communs dans le tableau. On voit qu'il y en a d'anhydres et d'hydratés. Dans les premiers, un grand nombre sont à base de chaux, de protoxyde de fer et de manganèse; d'autres renferment de la potasse, de la soude ou de la lithine. Plusieurs, quoiqu'à bases différentes, présentent les mêmes formules de composition et forment en conséquence des groupes particuliers, ou *genres*, qu'il importe de distinguer.

Plusieurs silicates hydratés ont leurs correspondants parmi les silicates anhydres, comme la thomsonite et la wernerite, la scolézite et le labradorite, la stilbite et la carnatite. Le plus grand nombre est à base de chaux; il y en a peu qui soient entièrement à base alcaline, et il est rare d'y trouver la potasse. Il en est qui renferment du protoxyde de fer, et dont la plupart constituent alors des substances fort analogues, de couleur verte, qu'on a désignées sous les noms de *chlorite* ou de *terre verte*.

Dans quelques composés, l'alumine fait aussi fonction de corps électro-négatif, et il en résulte des combinaisons de silicates et d'aluminates. Cette même substance est quelquefois remplacée, en tout ou en partie, par ses isomorphes, peroxide de fer $\dot{\dot{\dot{F}}}e$, oxide de chrome $\dot{\dot{\dot{C}}}r$, oxide de manganèse $\dot{\dot{\dot{M}}}a$, etc.

Enfin, il y a des silicates alumineux qui renferment du fluor, du chlore, de l'acide borique, de l'acide phosphorique, du soufre, de l'acide sulfurique, dont les fonctions se trouvent tout-à-fait inconnues, et dont on est obligé de former des groupes à part.

A. *Silicates alumineux doubles anhydres.*

§ 273. Parmi les nombreuses espèces de cette division, nous avons particulièrement à considérer : le groupe dans lequel se trouvent l'*orthose*, l'*albite*, etc., de même formule de composition, et qui forment ce qu'on nomme, en général, le *feldspath;* le groupe à la tête duquel se trouve le *grossulaire*, qui constitue ce qu'on appelle les *grenats;* le groupe *idocrase*, et le groupe des *épidotes*. Le premier groupe nous intéresse en ce que ses espèces jouent un rôle important dans les terrains de cristallisation ; les autres, parce qu'ils s'y rencontrent fréquemment. Nous y ajouterons l'*émeraude*, dont le nom bien connu doit faire désirer quelques détails sur les matières qui le portent.

Genre Feldspath.

§ 274. **Caractères généraux.** — Les matières qui, dans le principe, ont reçu collectivement le nom de Feldspath, sont aussi abondantes dans les terrains de cristallisation que le calcaire dans les terrains de sédiment. Elles y constituent souvent des dépôts à elles seules, et forment la base de la plupart des roches composées qu'on y trouve. Elles sont divisées aujourd'hui en plusieurs espèces, ou tantôt ce sont des éléments différents et isomorphes qui se réunissent en formules de même espèce, tantôt les mêmes éléments

réunis sous des formules diverses. Telles sont, d'une part, l'*orthose*, l'*albite*, le *pétalite*, etc., de l'autre, le *labradorite*, le *ryacolite*, etc. Il est à remarquer que ces différentes substances, dont les compositions se trouvent dans le tableau des espèces, se mélangent entre elles, et avec l'*oligoclase*, de différentes manières; tellement que la nature chimique est souvent difficile à établir, et paraît même quelquefois se rapporter à des formules différentes, quand on se contente de faire la somme des éléments isomorphes. Toutes ces substances sont fusibles en émail blanc ou en verre bulleux; toutes présentent des clivages plus ou moins faciles lorsqu'elles sont cristallisées, ou en masses lamellaires, ou bien se trouvent à l'état compacte, la plupart avec éclat gras plus ou moins décidé. Les cristaux, très nombreux et très variés, présentent au premier moment beaucoup d'analogies entre eux; cependant les uns, comme ceux de l'orthose, dérivent d'un prisme rhomboïdal oblique, et les autres, comme ceux de l'albite, d'un prisme oblique à base de parallélogramme obliquangle. Dans la première série, il y a deux clivages qui se rencontrent à angles droits; dans la seconde, il y en a trois qui se rencontrent sous d'autres angles.

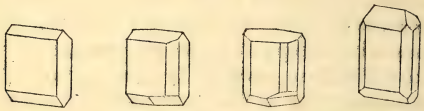
Orthose. — Les cristaux d'orthose, $3\,Al\,Si^3 + K\,Si^3$, assez communs dans les diverses sortes de granite, sont quelquefois des prismes rhomboïdaux, simples ou modifiés, fig. *a*, *b*; mais le plus souvent des prismes hexagones irréguliers terminés par des sommets dièdres et diversement modifiés, *c*, *d*, *e*, *f*, quelquefois très compliqués. Il y a aussi beaucoup de cristaux groupés.

On trouve aussi l'orthose sous des formes globulaires, engagées dans de l'orthose compacte plus ou moins sali de matières étrangères, et dont quelquefois elles peuvent se détacher. Ces globules, quelquefois assez gros, sont généralement striés du centre à la circonférence. Du reste, on rencontre cette substance en masses laminaires, divisibles en plaques plus ou moins épaisses; en masses lamellaires; en masses schisteuses, composées de feuillets compactes plus ou moins épais, souvent séparés par des enduits micacés; en masses granulaires à grains fins, et enfin à l'état compacte.

Naturellement blanc, l'orthose se colore de diverses manières par

des substances mélangées très variées. Il est quelquefois limpide, mais le plus souvent opaque ; dans le premier cas, il présente quelquefois des reflets nacrés très agréables.

Albite. — Les cristaux d'albite, $3\,Al\,Si^3 + Na\,Si^3$, généralement plus petits que ceux d'orthose, offrent aussi des prismes à sommets dièdres, mais modifiés inégalement sur les arêtes ou sur les angles, fig. *a*, *b*, *c*, *d*, ce qui montre leur rapport au système oblique obliquangle. Ils sont souvent groupés en sens inverse par les pans latéraux, et les faces du sommet forment alors entre elles des angles rentrants très ouverts.



L'albite est aussi en masse laminaire, quelquefois feuilletée ; en masse lamellaire, granulaire, quelquefois fibreuse et palmée, ou enfin en masse compacte.

Pétalite. — C'est encore une substance de même formule que les précédentes, qui renferme de la lithine, $3\,AlSi^3 + L\,Si^3$. Elle se trouve en masse laminaire qui se clive en prismes quadrilatères, et qui a une grande analogie extérieure avec l'orthose. On ne l'a encore rencontrée qu'en blocs isolés à Utô en Sudermanie. Elle paraît devoir appartenir aux dépôts de pegmatite.

Le pétalite est une des substances dont on peut extraire la lithine ; mais on emploie plus particulièrement, à cet effet, une matière qui l'accompagne, qu'on désigne sous le nom de *triphane*, et qui en renferme 8 à 9 pour 100. Le triphane est lamelleux, de couleur verdâtre, d'un éclat gras et un peu nacré ; il est fusible au chalumeau, et, traité avec la soude sur la feuille de platine, il tache fortement le métal.

Carnatite. — Ici la chaux prend la place des alcalis dans la composition, $3\,Al\,Si^3 + Ca\,Si^3$; mais on ne connaît que de très petits cristaux rectangulaires de cette matière, qui, du reste, paraît entrer dans la composition des granites et des gneiss de Coromandel. Cette substance diffère des précédentes en ce qu'elle est attaquable immédiatement par les acides, comme la suivante.

Labradorite. — On trouve ici les mêmes éléments que dans la carnatite, mais en d'autres proportions, $3\,Al\,Si + Ca\,S^3$, souvent avec un peu de soude et de potasse. La matière est aussi attaquable immédiatement par les acides. Elle se trouve sur la côte de

Labrador, dans la partie la plus septentrionale de l'Amérique, en morceaux isolés, susceptibles de clivages inclinés prismatiques, offrant alors de beaux reflets de couleurs variées, qui changent avec l'inclinaison de la pierre par rapport à l'œil. Elle forme aussi la base de certains basaltes, de certaines laves, qui sont dès lors attaqués facilement par les acides.

Rhyacolite. — Il y a encore ici une formule analogue à la précédente, 3 $Al\,Si + (Na, K)\,Si^3$, où la chaux est remplacée par la soude et plus ou moins de potasse. La substance est souvent en cristaux d'un éclat particulier qu'on a désignés sous le nom de *feldspaths vitreux*, et qui ont encore beaucoup d'analogie avec ceux d'orthose et d'albite; ils sont disséminés dans les trachytes compactes ou terreux, dont quelquefois ils se détachent facilement, ou dans diverses sortes de porphyres, et particulièrement dans les matières vitreuses que nous allons voir sous le nom de perlite, etc.

§ 275. **Gisement.** — L'orthose se trouve souvent disséminé dans les diverses roches, simples ou composées, des terrains de cristallisation, en cristaux plus ou moins volumineux, fréquemment mis à nu et isolés par la désagrégation des matières enveloppantes dont on peut alors facilement les détacher. Il se trouve aussi souvent en cristaux très nets dans les cavités et les fissures de ces roches.

Nous avons déjà indiqué l'orthose comme partie constituante essentielle des diverses sortes de *granites* et de *gneiss*, § 160, *note*, qui sont les roches principales des grands dépôts de cristallisation. Il se réunit aussi à l'amphibole et forme une autre roche qui a beaucoup de ressemblance, au premier abord, avec le granite, et qu'on nomme *siénite*. Celle-ci constitue encore de très grands dépôts, ou des filons dans les autres roches. Enfin l'orthose, légèrement grenu et mélangé de mica, forme la roche composée nommée *leptinite*, qu'on distingue en granitoïde et schisteuse.

A l'état compacte, l'orthose forme aussi des couches ou des amas considérables. Souvent il se trouve rempli de globules striés qui se dessinent sur les masses par une teinte différente, et qu'on remarque surtout lorsqu'ils sont dans une pâte colorée. De là résulte ce qu'on nomme les *variolites*, parce que sur les morceaux roulés les petits globules blanchâtres forment à la surface une élévation comme les pustules de petite-vérole. Ailleurs, au lieu de globules disséminés dans une masse compacte, ce sont des cristaux, tantôt d'orthose, tantôt d'albite, qui forment sur la pâte des taches parallélogrammiques. On a alors des *porphyres*, qu'on distingue par la couleur de leur fond; il y en a de bruns, de rouges, de verts, de noirs, etc. Les cristaux disséminés sont tantôt grands, tantôt petits, souvent blancs, et dans tous les cas d'une teinte moins foncée

que le reste de la masse. Les porphyres sont encore des roches très communes non seulement dans les grandes formations cristallines, mais encore dans certains dépôts de sédiment au travers desquels ils se sont fait jour.

L'albite présente à peu près les mêmes circonstances que l'orthose; on la trouve en cristaux dans les fissures des roches granitiques, particulièrement des protogynes, § 265, ou bien empâtée dans certains porphyres à base d'orthose. Elle constitue aussi diverses roches en se réunissant avec d'autres substances; c'est ainsi que réunie à l'*amphibole* elle forme les *diorites*, roches fort analogues à la siénite, qui, par le mélange intime des éléments, passent à des matières compactes, vertes ou noires, d'apparence homogène, qu'on trouve en filons dans les dépôts cristallins ou sédimentaires, en amas ou sous la forme apparente de couches. Ce sont ces diorites compactes qui forment la pâte des porphyres verts des diverses variétés. L'oligoclase, suivant M. G. Rose, remplace l'albite dans les diorites de l'Oural.

L'albite, plus ou moins mélangée des autres espèces feldspathiques, forme, dans certaines contrées, la plus grande partie des roches que leur âpreté a fait désigner sous le nom de *trachyte*, et qui ont produit des épanchements considérables à la surface du globe. Les trachytes de Hongrie sont de cette espèce, ainsi que ceux des Andes, d'où est venu aussi à la roche le nom d'*andésite*.

Le labradorite est dans le même cas que l'orthose et l'albite Il se trouve associé au *diallage* ou à la *smaragdite*, et forme une partie des roches nommées *euphotides*, dont quelques unes cependant sont à base d'albite. Il constitue avec l'*hypersthène* une roche nommée *hypérite*, abondante dans les monts Ourals, comme l'*oligoclase*, associé à la même matière, forme des roches analogues au cap Lizard en Cornouailles. Enfin réuni au pyroxène, le labradorite constitue la *dolérite*, roche analogue à la diorite et à la siénite, tantôt granitoïde, tantôt compacte, et offrant alors d'un côté les *basaltes* et la plupart des laves, de l'autre les porphyres à pâte noire qu'on nomme *mélaphyres*.

Le rhyacolite, en cristaux disséminés dans beaucoup de roches porphyriques, constitue quelquefois aussi en entier les roches des épanchements trachytiques; elle forme ainsi la pâte des trachytes de l'Auvergne, du Siebengebirge, etc.

§ 276. **Usages.** — Certaines variétés d'orthose, qui offrent plus ou moins de transparence avec des reflets nacrés, sont employées dans la joaillerie sous le nom de *pierres de lune*, dont les plus belles viennent de Ceylan. On nomme *pierre de soleil* une variété analogue, remplie de petites paillettes de mica disséminées, qui

est beaucoup plus rare et d'un prix très élevé. Un feldspath laminaire d'une belle couleur verte, connu sous le nom de *pierre des amazones*, est employé pour de petits objets de fantaisie, tels que boîtes, socles, pendules, etc. C'est au même usage qu'on emploie les belles variétés chatoyantes de labradorite. On se sert aussi de plusieurs roches feldspathiques composées; c'est ainsi qu'on emploie le granite pour les bornes, pour les bordages de trottoir dans les grandes villes où le transport peut s'effectuer facilement. Cette même roche, ainsi que les siénites et les porphyres de diverses sortes, a été employée par les anciens en colonnes, en baignoires, en urnes sépulcrales, en tables, en plaques, etc., que l'on voit encore dans les édifices modernes; c'est ce qu'on nomme assez improprement les *marbres durs*. On ne fabrique guère de ces objets aujourd'hui, parce que les matières exigent de grands frais pour être taillées et polies; on fait seulement quelques plaques, quelques chambranles, de petites colonnes, des vases, que des particuliers même se donnent rarement à cause de leur prix élevé. Une des belles matières de ce genre est celle qu'on nomme le *granite orbiculaire de Corse*. C'est une roche de feldspath et d'amphibole vert entremêlés, dans laquelle se dessinent de gros globules radiés et à couches concentriques formés de ces deux mêmes matières. Ce qu'on nomme *porphyre orbiculaire de Corse* est un feldspath compacte, jaunâtre ou brunâtre, dans lequel se trouvent aussi de gros globules de même matière, radiés du centre à la circonférence; fort belle, sans doute, cette matière est cependant beaucoup au-dessous de la première. On pourrait employer le feldspath, vu sa fusibilité, pour fabriquer du verre blanc dans certaines localités; je ne sache pas cependant qu'on en ait fait usage sous ce rapport; mais on emploie les *perlites*, dont nous parlerons tout-à-l'heure, et les verres blancs qu'ils produisent ont beaucoup de solidité.

§ 277. **Appendice au feldspaths.** On est conduit à placer ici beaucoup de matières dont la composition est assez mal connue, mais qui renferment à peu près les mêmes éléments que les feldspaths, et, comme ces substances, sont fusibles en émail blanc. Ce sont celles qu'on désigne sous les noms d'*obsidienne*, de *marékanite*, de *perlite*, de *sphérolite* et de *ponce*, qui toutes appartiennent aux dépôts trachytiques, ainsi que le *rétinite*, et ses diverses modifications lithoïdes, qu'on trouve en filons ou en amas dans les terrains de sédiment inférieurs.

Les obsidiennes sont des matières vitreuses, le plus souvent noires, qui se boursoufleut presque toujours très fortement au feu, et qui dans la nature passent à des ponces boursouflées. Le perlite est une matière à structure testacée, plus ou moins nacrée, et qui tient

de la nature vitreuse. La marékanite se présente en globules plus ou moins vitreux dans le perlite, et la sphérolite s'y trouve en globules lithoïdes, striés du centre à la circonférence. La ponce se rattache à l'une et à l'autre de ces matières et en outre à beaucoup d'autres roches trachytiques. Elle existe surtout en fragments plus ou moins volumineux qui forment de très grands dépôts nommés *conglomérats ponceux*, souvent remaniés par les eaux, autour des groupes de trachytes.

Les rétinites sont en principe des matières vitreuses qui se trouvent dans les grès houillers et les grès rouges, § 160, *note*, et en relation avec des épanchements porphyriques. Jamais les rétinites ne passent à la ponce, mais bien à des matières lithoïdes, à des mélaphyres, etc.

§ 278. **Décomposition naturelle.** Les matières feldspathiques, ainsi que plusieurs de celles que nous y rattachons par appendice, se trouvent aussi dans la nature à l'état de décomposition et réduites en matière terreuse. Ce n'est pas seulement une désagrégation, car il y a eu soustraction d'un silicate de potasse qui, dans l'orthose ou l'albite, est de la formule $K\ Si^9$ ou $Na\ Si^9$, de sorte qu'il reste un silicate simple $Al\ Si$. Or, il est remarquable que le premier de ces silicates est soluble dans l'eau à 200 degrés, et qu'à cette température le feldspath est décomposé en deux corps. l'un insoluble $Al\ Si$, l'autre soluble. Cette remarque, importante sous le rapport théorique, peut conduire à l'idée que la décomposition ne se fait pas journellement, comme on l'a pensé, et qu'elle a eu lieu dans l'intérieur même de la terre avant le soulèvement de ces masses, sous la pression d'environ 15 atmosphères.

Quoi qu'il en soit, l'orthose, l'albite, la ponce, sont fréquemment décomposés, et produisent des substances assez analogues entre elles, qu'on nomme, en général, *kaolin :* c'est l'espèce d'argile qu'on emploie pour la fabrication de la porcelaine en France. Il y a de grands dépôts de kaolin dans le Limousin, surtout dans les environs de Saint-Yrieix, et c'est ce qui a donné lieu aux nombreuses fabriques du pays. La porcelaine, la plus belle des poteries a pour couverte, ou vernis, le feldspath lui-même, non altéré, que l'on désigne alors sous le nom de *pétunzé*.

Dans quelques localités la ponce a subi des modifications beaucoup plus grandes encore, et il s'est formé de nouveaux composés. C'est ainsi que les tufs ponceux qui ont recouvert Herculanum, ceux qui forment la masse du Pausilyppe, sont en partie convertis en une espèce d'allophane qui pourrait être très utile pour la préparation de l'alun.

Genre Grenat.

§ 279. On nomme *grenats* des matières qui cristallisent dans le système cubique, et généralement en dodécaèdres rhomboïdaux, ou en trapézoèdres ; qui sont toutes susceptibles de rayer le quarz ; qui sont fusibles au chalumeau et qui présentent la même formule de composition, quoique les unes soient à base de chaux, les autres à base de protoxyde de manganèse, etc. Souvent tous ces composés sont mélangés ensemble dans le même cristal, et les couleurs sont, par suite de cela, très variables. Le plus communément ce sont des teintes rouges plus ou moins foncées, qui appartiennent particulièrement à l'*almandine ;* mais il y a aussi des grenats jaunâtres ou verdâtres qui sont, le plus souvent, des *grossulaires*, ou bien bruns et noirs qui constituent la *spessartine* et la *mélanite.*

Les grenats sont presque toujours cristallisés, et alors abondamment disséminés dans les diverses roches de cristallisation, principalement dans les micaschistes, les gneiss, les pegmatites, les schistes argileux, les roches serpentineuses, les calcaires qui avoisinent les terrains de cristallisation. On en trouve aussi dans les terrains trachytiques, basaltiques et volcaniques modernes ; dans ces derniers, ce sont le plus souvent des grenats à base de peroxyde de fer, c'est-à-dire l'espèce qu'on a nommée *mélanite.* On trouve aussi le grenat en petites masses granulaires, et même à l'état compacte et lithoïde ; quelquefois il constitue alors de petites couches au milieu des micaschistes.

Les grenats des diverses teintes rouges sont très recherchés par les bijoutiers ; ceux qui sont d'un rouge de feu, ou violâtres, d'une belle teinte veloutée, sont désignés sous le nom de *grenat syrien*, *grenat oriental*, et forment probablement ce que les anciens appelaient *escarboucle ;* ceux qui sont d'un rouge tirant plus ou moins sur l'orangé sont désignés sous le nom d'*hyacinthe.* Toutes ces pierres sont souvent d'un prix assez élevé.

Idocrase.

§ 280. Les idocrases sont des matières de même composition que les grenats, mais qui diffèrent par le système de cristallisation, qui est alors le prisme carré. Comme les grenats, il y en a de diverses bases, mais qui sont toujours plus ou moins mélangées. Elles sont en général à base de chaux et de protoxyde de fer, et vertes ou brunes ; quelquefois à base de magnésie, et alors blanches ou jaunâtres ; à base d'oxyde de cuivre et présentant une teinte bleue qui leur a valu le nom de *cyprine.*

Ces matières, qu'on connaît le plus souvent cristallisées, mais

qu'on trouve aussi en masses bacillaires, fibreuses, granulaires et compactes, se rencontrent dans les mêmes gisements que les grenats, et fréquemment avec eux. On en trouve beaucoup dans les blocs de dolomie qui existent dans les tufs ponceux dont la base du Vésuve, ou ce qu'on appelle la *Somma*, est entourée. Elles forment quelquefois, comme le grenat, des couches minces au milieu des micaschistes, et principalement en Piémont.

Genre Épidote.

§ 281. Les épidotes se trouvent partagées en deux espèces, dont l'une, le *zoïsite*, à base de chaux, est grisâtre, et dont l'autre, la *thallite*, à base de protoxyde de fer, est d'un vert foncé. C'est celle-ci qui est la plus commune, et qu'on rencontre très fréquemment dans les terrains granitiques alpins. Elle se présente ordinairement en prismes allongés, le plus souvent groupés les uns sur les autres et formant des masses bacillaires qui remplissent les fissures des roches. Elle se trouve quelquefois aussi en filaments extrêmement ténus, qui forment une espèce d'amiante ou d'asbeste qu'on a nommée quelquefois *amiantoïde*. A l'état compacte elle se mélange parfois avec le quarz et constitue des couches ou des amas plus ou moins puissants. Elle forme aussi de petits nids disséminés dans les roches, et de petits rognons dans les amygdaloïdes de diverses localités.

On connaît cette substance presque partout; mais en France les environs du bourg d'Oisan ont fourni de belles masses bacillaires. En Suède, en Norwége, les mines de fer, qui appartiennent aux formations cristallines, en ont présenté souvent de beaux cristaux plus ou moins volumineux.

Émeraude. — *Béril*, *aigue marine*.

§ 282. Substance vitreuse, rayant le quarz et rayée par la topaze, cristallisant en prismes à base d'hexagone régulier.

Fusible au chalumeau en émail blanc. Renfermant de la glucine.

Cette substance se trouve généralement cristallisée, et c'est toujours le prisme hexagone qui domine. Ce prisme est très rarement terminé par des pyramides, mais souvent il se trouve déformé et devient cylindroïde.

Les couleurs sont variées; il y a des émeraudes limpides, ou opaques et incolores; d'autres sont jaunes, vert-bouteille et bleuâtres. Rarement elles présentent un beau vert, qui est dû alors à l'oxyde de chrome.

Gisement. — L'émeraude se trouve en général disséminée; elle appartient particulièrement à l'espèce de granite nommée pegma-

tite. Quelquefois on la trouve dans le gneiss. La belle émeraude verte se trouve au Pérou dans un schiste argileux lié avec des calcaires. Assez souvent l'émeraude est hors de place dans des dépôts arénacés qui proviennent de la destruction des roches que nous venons d'indiquer. C'est une matière assez commune, qu'on trouve en France en grande quantité dans les pegmatites du Limousin; il n'est pas rare dans le pays de la trouver en morceaux brisés dans les tas de pierres réunies pour l'entretien des routes.

Usage. — On emploie pour la bijouterie l'émeraude verte du Pérou, certaines variétés bleuâtres qu'on nomme *aigues marines*, et les variétés vert-jaunâtre qu'on nomme *béril*. La première est la seule qui ait quelque valeur; elle est même d'un prix très élevé lorsqu'étant assez grande elle ne présente aucun défaut.

B. *Silicates alumineux doubles hydratés, à base calcaire ou alcaline.*

§ 283. Toutes les matières de ce groupe ont entre elles beaucoup de ressemblance, et dans le principe ont été confondues sous le nom de *zéolite*, parce qu'elles fondaient au chalumeau avec bouillonnement. Elles donnent toutes de l'eau par calcination, sont toutes solubles en gelées dans les acides, soit à froid, soit à chaud; la plupart sont à base de chaux. Elles sont généralement blanches, et quelquefois seulement colorées en rouge par le mélange de peroxyde de fer. Leur dureté est peu considérable, car presque toutes sont incapables de rayer le verre.

Sous le rapport de la cristallisation, une seule de ces substances, l'*analcime*, appartient au système cubique, et en offre la plupart des modifications; une autre, la *chabasie*, se trouve en rhomboèdres et l'*hydrolite* en prisme hexagone régulier. Deux, la *scolezite* et la *thomsonite*, se rapportent au prisme à bases carrées; plusieurs au système droit rectangulaire, comme la *stilbite* et la *mésotype;* et trois au système prismatique oblique, telles que la *laumonite*, la *heulandite*, la *brewstérite*. On peut donc les distinguer en plusieurs groupes lorsqu'elles sont cristallisées; mais elles se trouvent fréquemment en petites masses fibreuses, et il n'y a plus alors que l'analyse pour les caractériser.

Ajoutons maintenant que ces matières se trouvent toutes dans le même gisement, et que souvent elles sont réunies ensemble. Elles appartiennent en général aux amygdaloïdes, aux basaltes, aux tufs basaltiques, et en remplissent les cellules.

Quelques unes cependant se trouvent aussi dans les fissures du

granite protogyne, comme la stilbite et la laumonite, ou dans les filons métallifères qui offrent les deux substances que nous venons de citer, et en outre l'harmotome et la brewstérite.

Les plus communes de ces matières sont la mésotype, la scolezite, l'analcime, la chabasie et la stilbite. Ce sont aussi celles qu'on rencontre le plus fréquemment dans les collections.

C. *Silicates alumineux chloritiques.*

§ 284. Les substances que leurs couleurs ont fait désigner sous les noms de *chlorites* et de *terres vertes* sont, les unes des silicates alumineux combinés avec des silicates des bases à un atome d'oxygène, tandis que les autres sont formés uniquement de ces derniers. La plupart renferment du protoxyde de fer, auquel elles doivent leurs couleurs, mais qui n'est pas absolument essentiel à la composition. Toutes sont hydratées ou hydratifères.

Parmi les chlorites, on a récemment distingué la *pennine* et la *chlorite hexagonale*, qui sont régulièrement cristallisées, toutes deux dans le système rhomboédrique, et constituant deux espèces distinctes. La pennine est en rhomboèdres aigus, souvent tronquée profondément au sommet, et qu'on a pris souvent pour des prismes triangulaires ; l'autre espèce est en lames hexagonales. La première, qui jouit au plus haut degré du dichroïsme, se trouve dans des schistes micacés ou chloritiques des environs du mont Rose, au pied du Simplon, dans la vallée de Binnen, dans les moraines du glacier de Findelen près de Zermatt. La chlorite hexagonale accompagne le grenat et le pyroxène de la vallée d'Ala en Piémont, et se trouve fréquemment dans les fissures de l'espèce de granite alpin qu'on a nommé protogyne ; on la cite aussi dans les Pyrénées. La *ripidolite* est en cristaux minces, peu déterminables, accolés entre eux et formant des espèces de mamelons flabelliformes. Elle a diverses analogies extérieures avec les substances précédentes, et, comme elles, a été longtemps confondue avec les micas.

Les matières vertes, désignées sous les noms de *hisingerite* et de *sideroschisolite* n'offrent que des indices de cristallisation en petites aiguilles, dont la forme est peu déterminable ; l'une vient de Sudermanie, disséminée dans des calcaires, l'autre du Brésil avec de la pyrite magnétique.

§ 285. Les terres vertes alumineuses, vert-jaunâtre ou vert-bleuâtre, sont des matières plus ou moins terreuses, n'ayant aucun indice de cristallisation, dont la composition est tout-à-fait inconnue sous le rapport de la quantité relative des éléments, chaque analyse offrant, en quelque sorte, une composition différente.

Elles se trouvent, en rognons plus ou moins volumineux, dans les roches amygdaloïdes, où quelquefois elles enveloppent d'une couche plus ou moins épaisse les rognons zéolitiques et siliceux. Elles s'y présentent aussi, quoique rarement, sous des formes empruntées aux minéraux cristallisés, surtout au pyroxène. On les trouve aussi dans les terrains de sédiments; elles sont abondantes en petits grains disséminés dans les sables qui préludent à la craie, et qu'on nomme à cause de cela *sables verts*, ainsi que dans les parties inférieures de cette variété de calcaire qu'on nomme alors *craie chloritée*, § 249 (1). Elles existent encore à la base des calcaires parisiens, tantôt en petits dépôts sableux entre leurs couches, tantôt disséminée. Il arrive souvent, dans ces divers dépôts sédimentaires, que les terres vertes sont entièrement privées d'alumine et se rapportent dès lors aux silicates non alumineux.

Les terres vertes ont été quelquefois employées en peinture, où elles produisent de beaux effets : la plus renommée est la *terre de Vérone*, qui, broyée et lavée, fournit une belle couleur qui est fort recherchée.

§ 286. La *pimélite* et la *carpholite* sont des matières analogues aux précédentes par le genre de composition; la première est compacte, d'un vert-émeraude, lorsqu'elle est pure, ce qu'elle doit à un silicate de nickel qui entre dans sa composition. Elle accompagne le silex chrysoprase à Kosemutz en Silésie.

La *carpholite* est une substance fibreuse, jaune de paille, ce qui lui a valu son nom, où le protoxyde de manganèse remplace le protoxyde de fer qu'on rencontre dans les autres espèces du groupe. Elle se trouve dans le granite à Schlakenwald en Bohême, où elle est accompagnée de fluor.

D. *Alumino-silicates.*

§ 287. Ici la silice seule ne suffit pas pour saturer les autres oxydes suivant les lois connues, et l'on est obligé de supposer que l'alumine même fait fonction d'acide dans les composés, comme nous l'avons vu dans d'autres cas, § 156.

Nous ne mentionnerions pas ce groupe, si deux des substances qu'il renferme, la *chamoisite* et la *berthiérine*, ne présentaient des minerais de fer exploités. Le premier forme des gîtes dans le calcaire de la montagne de Chamoison dans le Valais, et dans les environs de Quintin en Bretagne; l'autre est mélangé, et souvent

(1) On nomme aussi chlorites, à cause de la couleur verte, des matières qui sont formées de petites écailles empilées les unes sur les autres, dont la plupart sont anhydres, et qu'on range encore parmi les micas.

en assez grande quantité, dans les minerais de fer en grains de la Champagne, et particulièrement dans ceux de Hayange (Moselle). Ils sont l'un et l'autre en grains d'un gris verdâtre et d'un noir bleuâtre, et tous deux attirables à l'aimant.

E. *Silicates alumineux doubles, fluorifères, ou micas divers.*

Donnant les indices du fluor dans le tube de verre par la fusion avec le sel de phosphore.

§ 288. On a nommé *micas* (de *micare*, briller) des matières susceptibles de se diviser en feuillets élastiques aussi minces qu'on peut le désirer, et dont les surfaces sont toujours très brillantes ; mais sous ces caractères peu importants, on confond certainement encore un assez grand nombre de substances très différentes, comme on y rangeait même, il y a peu de temps, la pennine, la chlorite hexagonale et la ripidolite.

Il y a des micas qui n'ont qu'un axe de double réfraction, attractif pour les uns et répulsif pour les autres, § 95. Il en est d'autres, au contraire, où il y a deux axes qui présentent divers degrés d'écartement. Ces caractères, faciles à observer parce que les feuillets sont naturellement perpendiculaires à l'axe, ou à la ligne moyenne des axes, indiquent des différences essentielles de cristallisation, et nécessairement diverses espèces.

La composition n'offre pas moins de différence : certains micas renferment de la lithine, d'autres de la potasse et une quantité plus ou moins considérable de magnésie; de plus, dans le grand nombre d'analyses que nous connaissons, il y a à faire une multitude de divisions et de sous-divisions sous le rapport des quantités relatives. Il en est qui sont alors noirs ou très foncés en couleur, où l'on trouve une grande quantité de peroxyde de fer, qui emplace, à ce qu'il paraît, l'alumine.

Le fluor, dont on ignore ici le rôle, se trouve aussi en quantité variable, depuis 3 millièmes jusqu'à 80 ; et cependant il ne manque dans aucune des analyses faites récemment, ni dans aucun des micas soumis aux essais, § 122, 6°.

Les micas magnésiens sont généralement plus doux au toucher que les autres, et moins élastiques ; il paraît s'y trouver quelques espèces à un axe, mais la plupart cependant en présentent deux.

Les micas à base de lithine ont été souvent désignés sous le nom de *lépidolite*, parce que les petites masses qu'ils présentent sont en général composées de lamelles très brillantes, nacrées, blanches, roses, violâtres, verdâtres, et qu'on les a comparées aux écailles que portent les ailes des papillons.

On trouve assez souvent le mica cristallisé, mais rarement en cristaux nets; il en est qui paraissent présenter des prismes hexagones réguliers, d'autres qui sont en prismes rhomboïdaux, presque toujours obliques. Quelquefois les cristaux sont réunis en masses globulaires qui sont comme composées d'écailles brillantes plus ou moins étendues; ailleurs ce sont des lamelles entremêlées et formant ce qu'on nomme les *chlorites écailleuses*, ou réunies de manière à former des fibres ou des dispositions palmées. Enfin, le mica se trouve quelquefois en grandes feuilles qui ressemblent à du verre à vitres.

Les couleurs des matières micacées varient du noir au vert foncé, au vert clair, au brun, au rouge; du blanc au grisâtre, au jaunâtre, au rose, au violet, etc.

Gisement et usage. — Le mica appartient essentiellement aux terrains de cristallisation. Il entre dans la composition des granites, des gneiss, des micaschises, des hyalomictes, des leptinites, § 155, 265, 275, et il forme, par l'accumulation d'une multitude de paillettes disposées à plat, la plupart des schistes argileux; on distingue ces paillettes jusque dans l'ardoise. Il se trouve fréquemment en quantités plus ou moins grandes dans les calcaires qui sont enclavés dans les terrains de cristallisation, § 249. On le trouve encore dans les trachytes, les basaltes, les tufs basaltiques.

Presque toutes les matières sableuses des dépôts de sédiment renferment des paillettes de mica disséminées, qui se distinguent par leur éclat argenté ou doré; ce sont ces paillettes que le vulgaire a prises souvent pour de l'argent ou de l'or : les sables mêmes des derniers dépôts tertiaires en sont remplis dans certains points, et pour ainsi dire formés.

Le mica est de peu d'usage; on emploie les grandes feuilles comme verre à vitre sur les bâtiments de la marine russe, et il s'en fait sous ce rapport une grande exploitation en Sibérie. Du reste, c'est le mica, et particulièrement la variété nommée lépidolite, qui forme les poudres brillante, argentée, dorée, rosâtre, dont on se sert pour sécher l'écriture.

F. *Silicates alumineux doubles borifères.*

§ 289. Ces sortes de silicates sont peu nombreux, mais il se trouve parmi eux une substance que nous ne pouvons passer sous silence : c'est la *tourmaline*, connue depuis longtemps sous le nom de *schorl électrique*, une des substances qui acquièrent par la cha-

leur l'électricité polaire, c'est-à-dire l'électricité positive à une des extrémités, et l'électricité négative à l'autre.

Cette substance se trouve toujours cristallisée, soit régulièrement, soit en cristaux déformés, tantôt isolés, tantôt groupés en masse bacillaire; la cassure est vitreuse et n'offre aucun indice de clivage. Les cristaux, dont il y a de très volumineux, appartiennent au système rhomboédrique, et se font remarquer par le défaut de symétrie géométrique § 45. 2°. Les prismes hexagones qu'ils présentent ne sont souvent modifiés que sur trois arêtes latérales, fig. *a;* et les sommets sont toujours différents l'un de l'autre, *b*, *c*, *d*, *e*, l'un présentant, par exemple, un rhomboèdre simple, l'autre un rhomboèdre modifié profondément à l'angle culminant ou sur les arêtes qui y concourent.

a *b* *c* *d* *e*

La tourmaline est aussi la substance la plus remarquable sous le rapport de la faculté d'éteindre une des deux images produites par la double réfraction, il ne lui faut pour cela qu'une très faible épaisseur, même dans des variétés assez transparentes, § 89.

La tourmaline raie le quarz, mais elle est rayée par la topaze. Elle est difficilement fusible dans certaines variétés.

La composition de la tourmaline est tout aussi mal connue que celle des micas; l'acide borique, qui se trouve dans toutes les analyses, y varie depuis un centième jusqu'à neuf, sans qu'on sache encore quel rôle il joue dans la composition. Dans certaines variétés il y a de la lithine, dans les autres de la potasse ou de la soude, quelquefois deux de ces alcalis, et souvent de la chaux, de la magnésie, des oxydes de fer et de manganèse; et le tout sans qu'on puisse établir de formule de composition commune.

Il y a des tourmalines de toutes couleurs : de bleues, de vertes plus ou moins foncées, de rouges et de noires. Les variétés bleues sont nommées *indicolites*, et les rouges *rubellites;* l'une et l'autre renferment de la lithine, et elles sont souvent mélangées dans le même cristal. et par accroissements alternatifs. Les variétés noires ne paraissent renfermer que de la soude et de la potasse, et ce sont celles dans lesquelles on trouve le plus de magnésie.

La tourmaline noire est la plus commune, et se trouve disséminée dans toutes les roches cristallines. C'est aux dépôts de pegmatites qu'appartiennent particulièrement les variétés bleues et vertes,

quoique les noires s'y trouvent aussi abondamment. Les dolomies du Saint-Gothard nous en présentent d'un beau vert clair que l'on ne trouve pas même ailleurs. Les débris des roches de cristallisation renferment aussi de grandes quantités de tourmalines, et c'est du milieu d'eux qu'on tire surtout celles qu'on emploie dans la bijouterie ; elles nous arrivent toutes taillées du Brésil, quelquefois aussi de Ceylan, où on les recueille dans les ruisseaux en même temps que les corindons et les spinelles.

Ces sortes de pierres sont en général peu estimées dans la joaillerie, et en effet la plupart ne produisent aucun effet, étant presque toujours très sombres ; cependant quelques variétés bleues, vertes et rouges, sont assez claires, assez transparentes pour imiter jusqu'à un certain point le saphir, l'émeraude, le rubis, et sont alors assez recherchées. La dernière surtout, lorsqu'elle est d'une belle teinte, exempte de glaces et de fibres, ce qui est très rare, se vend aussi cher que le rubis lui-même.

§ 290. L'*axinite*, remarquable par ses cristaux tranchants, en forme de hache, ce qui lui a valu son nom, et par sa couleur violette, qu'elle doit au manganèse, est une belle substance de collection, surtout dans les variétés qui proviennent de l'Oisan, où elle se trouve dans les fissures des protogynes.

G. *Silicates alumineux doubles sulfurifères.*

§ 291. Une des circonstances remarquables de la composition des silicates est la présence de certains sulfures dans les uns, comme l'helvine et l'outremer, et des sulfates dans les autres. Ces matières sont sans doute à l'état de combinaisons, et jouent le rôle électro-positif, comme dans le kermès minéral, § 172, et dans divers composés de nos laboratoires.

La plus remarquable des espèces de ce groupe est l'*outremer*, nommé aussi *lapis-lazuli* ou *lazulite;* c'est une matière d'un bleu plus ou moins intense, rayant le verre, qui se présente quelquefois en cristaux dodécaèdres rhomboïdaux ; fusible en verre blanc ; soluble en perdant sa couleur dans les acides.

Cette matière appartient aux terrains granitiques. On la cite en Sibérie, près du lac Baïkal, dans la petite Bucharie, au Thibet et dans plusieurs provinces de la Chine. Elle est fort recherchée et toujours d'un prix élevé lorsqu'elle est en masse un peu étendue. On l'emploie en placage, formé de pièces de rapport, pour des ornements intérieurs de chapelles ou autres objets ; on recherche tantôt les variétés de teintes uniformes, tantôt celles qui sont mélangées de parties blanches, et quelquefois les variétés remplies de

pyrites inaltérables, § 192, qui, se dessinant en jaune d'or sur le fond bleu, produisent un assez bel effet.

§ 292. La *haüyne* est encore une substance bleue qui cristallise en dodécaèdres rhomboïdaux, et qui perd sa couleur par la fusion comme par la solution dans un acide; mais on y trouve de l'acide sulfurique tout formé et des proportions différentes d'alumine. Cette substance est en petits nids ou en cristaux disséminés dans les laves, dans les basaltes, les tufs basaltiques, et dans certaines roches trachytiques.

Silicates non alumineux.

Solution n'offrant plus par l'ammoniaque de précipité gélatineux attaquable par la potasse, mais précipitant de diverses manières par les différents réactifs.

§ 293. Parmi les corps qui se rapportent à ce groupe, nous avons surtout à considérer les silicates magnésiens, anhydres ou hydratés, comme le *péridot*, le *talc*, les *serpentines*, les *diallages*, la *stéatite* et la *magnésite*, qui sont fort communs à la surface du globe. Nous avons aussi quelques silicates doubles, comme la *diopside* et l'*hedendergite*, qui forment ce qu'on appelle les *pyroxènes*, ainsi que la *trémolite* et l'*actinote*, que l'on réunit souvent sous le nom d'*amphibole;* toutes substances fort communes aussi dans les roches cristallines. Nous ajouterons la *calamine*, comme minerai de zinc; le *zircon*, qui est employé dans la joaillerie; la *gadolinite*, où, pour la première fois, on a rencontré l'yttria; la *cérérite*, avec laquelle se prépare presque toujours le *cérium;* et la *thorite*, qui renferme l'oxyde de thorinium.

Péridot. — *Olivine*, *chrysolite des volcans.*

§ 294. Substance vitreuse, le plus souvent verte, rayant difficilement le quarz, infusible au chalumeau, cristallisant en prismes rectangulaires diversement modifiés, mais se trouvant le plus souvent en petits rognons à structures granuliformes ou en petits grains irréguliers disséminés.

Le péridot se trouve en rognons, quelquefois assez gros, et en grains disséminés dans le basalte, roche pour laquelle il est en quelque sorte caractéristique; nos basaltes de l'Auvergne, du Vélay et surtout du Vivarais, nous en présentent de nombreux exemples. On le trouve rarement dans les laves, et il n'en existe ni dans les roches trachytiques ni dans les terrains de granite; mais il s'en trouve dans les cavités du fer météorique de Sibérie, § 157, et plusieurs pierres météoriques mêmes en renferment quelques grains.

On emploie quelquefois le péridot dans la joaillerie, mais c'est en général une pierre peu estimée, cependant elle est encore assez agréable lorsqu'elle est bien taillée.

Talc, stéatite et magnésite.

§ 295. **Talc.** — Substance verdâtre, blanchâtre ou grisâtre, le plus souvent feuilletée, susceptible de se diviser en lames minces plus ou moins transparentes, qui offrent deux axes de double réfraction ; elle est alors assez analogue au mica, mais elle en diffère chimiquement par l'absence de l'alumine, et physiquement en ce qu'elle est douce et onctueuse au toucher, que les feuillets en sont moins élastiques. Cette matière se raie facilement par l'ongle ; elle est très difficilement fusible au chalumeau.

On connaît aussi le talc en petites masses composées d'écailles, quelquefois il est compacte ; mais on confond souvent alors sous ce nom des *stéatites*, qui en diffèrent par la présence de l'eau.

Le talc ne forme pas de grandes masses ; il se trouve en amas, en filons même, dans différentes roches de cristallisation, et dans les calcaires qui y sont enclavés. Il faut remarquer qu'on désigne souvent sous ce nom les micas très magnésiens qui se trouvent dans les protogynes des Alpes ; c'est à ces micas que se rapporte tout ce qu'on a indiqué comme talc cristallisé.

§ 296. **Stéatite.** — La stéatite, qu'on nomme aussi *craie de Briançon*, est une substance extrêmement onctueuse et grasse au toucher, compacte ou finement écailleuse, qu'on trouve quelquefois sous des formes empruntées, soit au quarz, soit au carbonate de chaux, et enveloppées dans la stéatite compacte.

Cette substance n'est que du talc hydraté, qui, par conséquent, donne de l'eau à la calcination ; elle se trouve dans les mêmes gisements, et cependant elle est plus abondante. C'est particulièrement de Briançon qu'on la tire pour former la poudre onctueuse qui sert à faire glisser les bottes, ou pour les tailleurs, qui l'emploient à tracer sur le drap la coupe des habits.

§ 297. **Magnésite.** — C'est encore un talc hydraté, mais où la quantité d'eau est beaucoup plus grande. Au lieu d'être onctueuse, la poussière est, au contraire, sèche au toucher ; du reste, la matière est plus ou moins terreuse et toujours très tendre, le plus souvent blanchâtre ou grisâtre.

La magnésite se trouve d'abord dans les serpentines, où elle forme des veines ou des rognons, comme en Piémont ; mais elle existe aussi dans les dépôts de sédiment supérieurs, et surtout dans les calcaires fluviatiles, comme aux environs de Paris, à Salinelle

près de Montpellier, et près de Madrid en Espagne; elle est partout accompagnée de matières siliceuses et surtout d'opale, et la masse terreuse qui enveloppe les opales de Ménilmontant, près de Paris, en est presque entièrement formée.

Certaines variétés homogènes, compactes, qui proviennent de l'Asie-Mineure, sont employées, sous le nom d'*écume de mer*, pour fabriquer des pipes fort estimées dans le Levant, et qui sont toujours fort chères.

Serpentines *et* Diallages.

§ 298. **Serpentines.** — Les serpentines et les diallages sont des silicates de magnésie combinés avec des hydrates de la même base: aussi sont-ils la plupart attaquables en partie par les acides. Certaines substances de ce groupe, comme on le voit par le tableau, sont des bi-silicates; les autres sont des talcs hydratifères.

Les serpentines sont des matières compactes, tendres, mais tenaces, à cassure plus ou moins esquilleuse et d'un éclat gras, dont la poussière, et souvent la masse même, sont généralement douces au toucher. Elles sont presque infusibles au chalumeau, ne se fondant, et avec difficulté, que sur les bords des écailles fort minces. Elles prennent de la dureté en perdant l'eau combinée.

Les couleurs de la serpentine, généralement sombres, varient du vert au noir et au brun plus ou moins foncé; toutes les teintes se trouvent souvent réunies par taches, par espèces de veines, sur le même échantillon, ce qui lui donne quelque ressemblance avec une peau de serpent, d'où est venu le nom qu'on a imposé à ces matières. On nomme en général *serpentines nobles* les variétés dont les couleurs sont plus vives et plus tranchées, et qui ont un certain degré de translucidité.

Il faut remarquer que sous le nom de serpentine on confond souvent des matières très différentes les unes des autres; si elles sont toutes très magnésiennes, les proportions relatives de silice et de magnésie, ou d'hydrate de magnésie, sont très variées: c'est ce qui constitue les matières nommées *marmolite*, *pikrolite*, *picrosmine*, *pyrallolite*, etc., qu'on en a déjà séparées. Il y en a même qui renferment plus ou moins d'alumine, et qui doivent encore former des espèces particulières.

Les serpentines se trouvent dans toutes les positions géologiques. Souvent elles sont au milieu des terrains de cristallisation, soit isolées, soit mélangées avec des calcaires qui y sont enclavés, et formant des marbres composés, § 251. Ailleurs, plus ou moins éloignées des dépôts ordinaires de cristallisation, elles sont en liaison avec des calcaires de divers âges, et qui paraissent même quel-

quefois assez modernes ; elles forment des collines plus ou moins élevées, souvent alignées sur une même direction, et dans le voisinage desquelles se trouve fréquemment du gypse, § 204.

Ces matières sont abondantes à la surface de la terre ; il en existe en Bretagne, en Limousin, dans les Pyrénées ; les Alpes en renferment dans un grand nombre de lieux et surtout dans les parties qui regardent l'Italie; toute la côte de Gênes en est en quelque sorte formée. La Saxe en présente des dépôts considérables, surtout aux environs de Zœblitz. L'Angleterre, l'Écosse, l'Amérique septentrionale, etc., en offrent également beaucoup ; on en cite en Afrique, en Asie, etc.

Dans les lieux où les serpentines sont abondantes, on les emploie à divers usages. Nous avons d'une part les marbres serpentineux et diallagiques, § 251 ; de l'autre, les serpentines pures sont employées en tables, en plaques, en colonnes, qui sont d'un assez bel effet lorsqu'on choisit les variétés des plus vives couleurs ; on en fait aussi beaucoup de petits ouvrages, comme vases de diverses sortes, socles de pendules, etc., qui forment surtout un objet d'industrie important pour la contrée de Zœblitz. Une variété grise, qui a beaucoup de ténacité, qui se taille encore plus facilement que les autres, surtout en sortant de la carrière, et qu'on nomme *pierre ollaire*, est employée, de temps immémorial, à la confection d'une poterie particulière d'un très bon usage ; on la taille, on la tourne, et on en fait ainsi des marmites, des poêlons, etc., fort solides, quoique minces et légers, qui résistent bien au feu et ne donnent aucun goût aux aliments. Il s'en fait surtout une grande quantité dans la Valteline et dans les Grisons ; c'est la ville de Côme qui en est l'entrepôt, et de là il s'en répand dans plusieurs parties de l'Italie et dans la Suisse.

§ 299. **Diallages.** — Les diallages sont des matières fort analogues aux serpentines, mais qui sont susceptibles d'un clivage suivant lequel elles sont plus ou moins nacrées ; dans les autres sens, la cassure est compacte, plus ou moins esquilleuse, terne ou céroïde. Ils sont aussi très tendres, à poussière douce au toucher ; la plupart plus fusibles au chalumeau que la serpentine, surtout dans les variétés où le protoxyde de fer, qui remplace la magnésie, devient plus abondant. Il y a évidemment ici, comme dans les serpentines, plusieurs espèces particulières qui diffèrent par l'ordre de l'hydrate ou du silicate. Il y a aussi des matières analogues aux diallages, mais qui en diffèrent en ce qu'elles sont anhydres ; telles sont les *bronzites*, l'*anthophyllite*, peut-être même la *smaragdite*, dans la partie non alumineuse de la composition qu'on y a jusqu'ici indiquée.

Les diallages ne forment pas à eux seuls de dépôts à la surface du globe; ils appartiennent aux dépôts de serpentines, dans lesquels ils sont en général disséminés, ou en nids tellement empâtés qu'il est souvent impossible de les distinguer. Ils forment aussi, avec l'albite compacte ou avec le labradorite, des roches que nous avons désignées sous le nom d'euphotides, § 275.

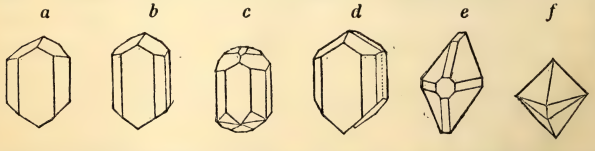
Genre Pyroxène.

§ 300. On nomme *pyroxène* des substances blanches, vertes ou noires, qui cristallisent en primes obliques, qui se clivent, les unes parallèlement aux pans d'un prisme rectangulaire, les autres à ceux d'un prisme rhomboïdal de 92° 55 ; les bases du prisme que le clivage présente quelquefois aussi, sont inclinées à l'axe de 106° à 106° $\frac{1}{2}$. Ces substances raient difficilement le verre et sont toutes rayées par le quarz; elles sont fusibles au chalumeau, en verre incolore ou coloré, suivant qu'elles sont privées d'oxyde de fer ou qu'elles en renferment plus ou moins.

On nomme *diopside* des variétés blanches ou d'un vert peu foncé, qui ne renferment que de la chaux et de la magnésie, ou une légère quantité de protoxyde de fer. L'*hedenbergite*, d'un vert foncé et presque noir, ne renferme, au contraire, que du protoxyde de fer avec peu de magnésie ou même pas.

On désigne sous le nom d'*augite* des variétés noires, toujours à poussière brune, dont le clivage rhomboïdal est plus apparent, et qui se trouvent particulièrement dans les laves et les produits basaltiques; la composition en est généralement altérée; mais les caractères cristallographiques sont les mêmes, si ce n'est qu'en général les formes sont plus simples.

Les pyroxènes se présentent presque toujours cristallisés; les cristaux les plus communs sont des prismes divers terminés par des sommets obliques, fig. *a*, *b*, *c*, et souvent des cristaux groupés de ces espèces *d* : ce sont là en général les cristaux noirs des volcans. Il en existe aussi en octaèdres irréguliers plus ou moins modifiés, *e*, *f*, et telles sont les variétés vertes du Tyrol, qui ont



reçu le nom de *fassaïte*. On connaît aussi les pyroxènes, et particulièrement les variétés vertes, en petites masses bacillaires, lamellaires, granulaires et compactes; mais alors il faut une grande

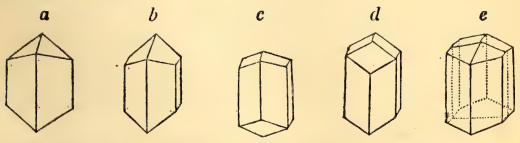
habitude pour les distinguer de beaucoup d'autres substances ; il n'y a même que l'analyse qui puisse réellement fournir un caractère net et précis.

Les pyroxènes forment quelquefois des veines, des filons, dans les roches de cristallisation ; ailleurs ils sont disséminés dans des calcaires enclavés au milieu de ces terrains, dans les dolomies, dans les grands dépôts de fer magnétique. L'augite se trouve particulièrement dans les laves anciennes et modernes, dans les basaltes, rarement dans les roches trachytiques. Les volcans en ont quelquefois rejeté avec profusion des cristaux isolés, qu'on trouve sur leurs flancs. Ces pyroxènes noirs sont parties constituantes de la roche plus ou moins granitoïde, nommée *dolérite*, où ils sont mélangés avec le labradorite, § 275 ; ce sont eux qui colorent les basaltes et les mélaphyres en noir.

Genre Amphibole.

§ 301. On nomme amphibole des substances blanches, vertes ou noires, fort analogues aux pyroxènes, clivables aussi en prisme rhomboïdal, mais où les faces sont inclinées de 124° à 127°. La composition présente aussi les mêmes éléments que les pyroxènes, mais réunis dans des proportions différentes.

On nomme particulièrement *trémolite* des variétés blanches ou légèrement verdâtres, qui ne renferment que de la chaux et de la magnésie. On désigne sous le nom d'*actinote* les variétés d'un vert foncé où la magnésie est remplacée en tout ou en partie par le protoxyde de fer. On donne le nom de *hornblende* aux variétés noires qui, comme l'augite, se trouvent particulièrement dans les laves, les basaltes et les roches trachytiques, et dont la composition est généralement altérée.



La trémolite se trouve en prismes rhomboïdaux plus ou moins allongés, mais dont les sommets sont toujours frustes ; l'actinote est en prismes du même genre plus ou moins modifiés, et à sommets dièdres. La hornblende est en cristaux réguliers et bien proportionnés, qui ressemblent beaucoup à ceux du pyroxène augite, fig. *a*, *b*, *c*. Les groupements que l'on connaît ne ressemblent pas à ceux des pyroxènes ; ils n'ont pas d'angles rentrants et se pré-

sentent, fig. *e*, comme résultant de la réunion de deux cristaux, fig. *c*, en sens inverse.

On trouve aussi les amphiboles en masses bacillaires ou fibreuses, à fibres droites, divergentes ou entrelacées; à cet état, l'actinote forme particulièrement des masses, quelquefois considérables, des dépôts ou des couches; il s'en trouve aussi en masses lamellaires.

Les amphiboles appartiennent à peu près à tous les dépôts de cristallisation, et l'actinote surtout y forme quelquefois des couches subordonnées ou des dépôts plus ou moins considérables où il se trouve en même temps du mica, du feldspath, des grenats, etc. Le quarz est fréquemment rempli d'actinote disséminé, et forme des roches particulières plus ou moins schistoïdes; quelquefois les calcaires enclavés dans les terrains cristallins en sont aussi remplis. Nous avons vu que, mêlée avec l'orthose ou l'albite, elle forme les siénites et les diorites, § 275. Cette matière est beaucoup plus commune dans les terrains trachytiques que les pyroxènes.

Il est à remarquer qu'en fondant de l'actinote dans un creuset, on obtient par un refroidissement lent une matière qui présente les clivages des pyroxènes, d'où il semble résulter une grande analogie entre les deux substances, qui peut-être ne diffèrent réellement que par la cristallisation, malgré les proportions différentes que présentent les analyses. On connaît des cristaux d'amphibole qui présentent le clivage du pyroxène, ce qui tend à rappeler l'effet de la chaleur sur le sulfate de zinc, etc., § 48.

§ 302. **Asbeste et amiante.** — C'est en grande partie aux substances magnésiennes que nous venons de citer que se rapportent les matières fibreuses qu'on désigne sous les noms d'*asbeste* et d'*amiante*. Les dépôts de serpentine présentent souvent des fissures qui sont remplies de ces matières, tantôt à fibres assez grossières, tantôt, au contraire, à fibres fines et souples comme de l'étoupe de soie : ces matières sont des silicates magnésiens, la plupart hydratés ou hydratifères, et quelques uns anhydres. On voit quelquefois les passages de la serpentine ou des diallages à ces sortes de substances.

Les pyroxènes offrent aussi des passages à des matières fibreuses souples qui semblent en être des variétés; mais ce sont surtout les trémolites qui présentent assez fréquemment ces sortes de modifications; il en résulte des masses fibreuses à fibres peu adhérentes qui sont de véritables asbestes. Celles-ci diffèrent beaucoup de celles qui proviennent des matières purement magnésiennes, en ce que les fibres en sont toujours très roides, cassantes, et telles

qu'en les brisant les mains se remplissent de petites pointes qui font éprouver une certaine douleur. Il paraît cependant que ces asbestes roides n'appartiennent pas toutes à la trémolite, et qu'elles en contiennent seulement les éléments réunis en d'autres proportions. Rappelons-nous aussi que nous avons vu des asbestes qui proviennent de l'épidote, § 281.

Silicates divers.

§ 303. Zircon. Substance vitreuse, presque toujours transparente, le plus souvent rouge, quelquefois jaunâtre, bleuâtre et même incolore ; d'un éclat gras particulier qui rappelle l'éclat du diamant ; toujours cristallisée, et offrant des prismes à bases carrées, ordinairement pyramidés et modifiés de diverses manières, très rarement en octaèdres, qui sont alors très surbaissés.

Assez dure pour rayer le quarz, mais rayée par la topaze ; infusible au chalumeau, mais perdant ses couleurs par l'action du feu.

Le zircon ne se trouve que disséminé ; il existe dans les siénites et dans les gneiss qui en dépendent, dans les basaltes et les tufs basaltiques, et rarement dans les trachytes. Il se trouve, et souvent en assez grande quantité, dans les sables des ruisseaux qui traversent ces divers terrains : c'est ainsi qu'on en rencontre près du Puy-en-Velay, au Riou-Pézouliou, et qu'il existe à Ceylan, où on l'a d'abord remarqué.

Cette substance est quelquefois employée dans la joaillerie ; mais, à l'exception de quelques pierres bien choisies, elle produit en général très peu d'effet. C'est du zircon qu'on extrait la zircone pour l'usage des laboratoires.

§ 304. Gadolinite. Substance noire, vitreuse, rayant le verre avec facilité, fusible au chalumeau, en verre opaque ; indiquée en prismes obliques rhomboïdaux qui sont du moins très rares.

Elle ne se trouve dans la nature qu'en très petite quantité, disséminée dans les pegmatites, et n'a encore été observée qu'en Suède, aux environs de Fahlun et à Ytterby. C'est la substance dont on tire l'*yttria* ; elle en renferme de 45 à 55 pour 100, suivant qu'elle est plus ou moins mélangée de matières étrangères.

§ 305. Cérérite. Substance rosâtre, ou violâtre, tirant au brun ou au gris, très pesante, rayant difficilement le verre, donnant de l'eau par calcination et infusible au calumeau.

C'est de cette matière qu'on extrait principalement l'oxyde de cérium, dont elle renferme 68 pour 100. Elle se trouve avec la *cérine*, qui n'en renferme que 28, dans les mines de cuivre de

Saint-Gorans à Ryddarhytta en Suède. Les autres matières cérifères sont encore moins riches.

§ 306. Thorite. C'est une substance noire, vitreuse, rayant le verre, qui donne de l'eau par calcination, et prend alors une couleur jaune. Elle forme des nids dans les siénites de l'île de Loewen en Norwége; c'est encore la seule matière dans laquelle on ait trouvé l'oxyde de thorinium, qui se rapproche de la zircone et de l'alumine.

§ 307. Calamine. Matière blanchâtre ou jaunâtre, rayant seulement la fluorine; donnant de l'eau par calcination, mais infusible au chalumeau; soluble en gelée dans les acides, solution donnant les indices du zinc, § 124, 4°. Elle cristallise dans le système prismatique rectangulaire, et le plus souvent en petites tables rectangulaires biselées de diverses manières. On la trouve aussi en petites masses stalactitiques et mamelonnées, en petites masses fibreuses, qui ressemblent fréquemment aux zéolites, § 283, ou bien en masse lamellaire compacte, souvent caverneuse, ou enfin terreuse.

Cette substance se trouve assez souvent comme matière accidentelle dans les gîtes métallifères, principalement avec les minerais de plomb et de cuivre; mais elle forme aussi de grands amas à elle seule dans les terrains de sédiment depuis la formation carbonifère jusqu'au lias. Elle est alors exploitée avec avantage pour la préparation du zinc et du laiton, et elle présente un minerai facile à traiter, qui renferme jusqu'à 68 pour 100 d'oxyde de zinc. Il en existe de grands dépôts dans la Haute-Silésie, en Belgique, principalement près d'Aix-la-Chapelle, où se trouvent les mines de la Vieille-Montagne, et dans le pays de Juliers. Nous en avons en France, à Montalet près d'Uzès, à Combecave près de Figeac, dont on pourrait peut-être tirer parti. C'est cependant encore de Belgique que nous arrive tout le zinc métallique dont nous nous servons.

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE.

TABLE ALPHABÉTIQUE

DE LA MINÉRALOGIE.

A

Accroissement des corps bruts. Page 3. — des cristaux de diverses formes. 58. Structure d'accroissement. 61.
Acerdèse. 124, 161.
Acides divers, leurs caractères. 95 à 97. Acide arsénique et ses combinaisons. 126, 168. — carbonique. 228. — borique. 138, 244. — chlorhydrique. 196. — molybdique et ses combinaisons. 125, 163. — phosphorique et ses combinaisons. 127, 172. — succinique. 221. — sulfurique, ses combinaisons. 134, 187.
Acier natif. 155. — Mine d'acier. 240.
Actinote. 143, 278.
Agate (voyez Calcédoine). 248.
Agglutination (forme d'). 52.
Aigue marine. 264.
Aimant. 124, 159.
Albâtre calcaire. 238. — gypseux. 191.
Albite. 140, 258.
Alcalis, comment on reconnaît leur présence. 99. — Alcali minéral. 245.
Allophane. 139, 254.
Almandine. 138, 263.
Alquifoux. 179.
Alumine, comment on reconnaît sa présence. 96, 99. — Ses combinaisons. 125, 131, 135, 138 à 142, 151, 192, 253.
Aluminates divers. 125, 141, 267.
Alun, alun de plume. 135, 195.
Alunite. 192. — produite dans les houillères embrasées. 219.
Alunogène. 134, 195.
Amalgame. 124.
Amas, définition. 145.
Amblygonite. 129.
Ambre jaune. 221.
Améthyste. 247.
Amiante, à quoi tient sa souplesse. 60. — sa nature. 278.
Amiantoïde. 264.
Ammoniaque, moyen de reconnaître sa présence. 100. — Sa nature. 136. (voyez Sel ammoniac).
Amphibole. 143, 277.
Amphigène. 140.
Analcime. 141, 265.
Analyse des minéraux. 101. — comparaison des analyses. 105. — transformations atomiques. 107. — leur discussion. 112.
Anatase. 126, 164.
Andalousite. 139.
Angles des cristaux. 8. — Angle de polarisation. 73.
Anglésite. 134, 188.
Anhydrite. 189.
Anneaux colorés des substances biréfringentes. 69. — leurs diamètres. 71.
Anthophyllite. 143, 275.
Anthracite. 214.
Antimoine, comment on reconnaît sa présence. 94, 97, 98. — Ses combinaisons. 126, 133. — Leurs caractères. 167, 184.
Apatite. 129, 172.
Aphanèse. 128.
Aphérèse. 129.
Aphthalose. 134.
Apophyllite. 143.
Apreté de certains minéraux. 87.
Aragonite, ses groupements. 41. — Fournit un exemple de dimorphisme. 58. Ses caractères. 137, 231, 239.
Argent, moyen de reconnaître sa présence. 98. — Comment il se trouve dans la nature. 148. — Ses combinaisons avec l'antimoine, l'arsenic, le chlore, le soufre, le sélénium. 126, 132, 133, 134, 177, 185, 197, 200.
Argent corné. 197.
Argent rouge. 185.
Argiles salifères. 198. — diverses. 138, 255.
Argyrithrose, argyrose. 131, 133, 177, 185.
Arséniates divers. 128, 171.
Arsenic, moyen de reconnaître sa présence. 94, 96. — Ses combinaisons. 126. — comment il se trouve dans la nature. 168.
Arséniures divers. 126, 168.
Asbeste, sa structure. 60. — Sa nature. 278.
Asphalte. 221.
Astérie, astérisme dans certains cristaux. 75.
Atakamite. 134, 200.
Atomes, système atomique. 106.
Augite (pyroxène). 142, 276.
Aventurine. 252.
Axes d'élasticité. 81. — de réfraction. 68, 70.
Axinite. 142, 271.
Azotates, comment on les reconnaît. 95 — Leurs espèces naturelles. 136, 208.
Azur de cobalt. 169.
Azurite. 137, 242.

B

Baïkalite. 143.
Bardiglio. 191.
Baryte, moyen de reconnaître sa présence. 99. — Ses combinaisons. 131, 137, 188.
Barytine. 134, 188.
Baryto-calcite. 137, 244.

Bas-relief de St-Philippe. 53.
Basalte, ce que c'est. 152, 260, 277.
Basicérine. 155.
Bayerine. 124.
Beaume de momie. 223.
Béril. 264.
Berthiérine. 141, 267.
Berzeline, 131, 195.
Bismuth, ce qui fait découvrir sa présence. 98. — Ses combinaisons, 126, 132, 133, 167.
Bitume, 221. — élastique. 224.
Blattererz. 132.
Blende. 131, 179.
Bleu de montagne. 242. — de Prusse natif. 173. — Thénard. 169.
Bois altérés. 227. — bitumineux. 220. — pétrifiés. 54.
Bombes volcaniques. 51.
Boracite, son défaut de symétrie. 35. — Son électricité. 86. — Sa composition, Ses caractères. 138, 245.
Borates, comment on les reconnaît. 95. Leur nombre. — 138. — Leurs caractères. 245.
Borax. 138, 245.
Bornine. 132.
Boro-silicates. 139, 245.
Botryolite. 138, 245.
Bournonite. 133, 186.
Braunite, 124, 162.
Brewstérite. 141, 265.
Brillant, taille de diamant. 212.
Brochantite. 134.
Brockite. 126.
Brome, indice de sa présence. 98. — Ses combinaisons. 135.
Bromures. 134, 200.
Bronzite. 143, 275.
Bustamite. 143.

C

Cadmium, indices de sa présence. 97. — Ses combinaisons. 180.
Cailloux roulés. 51.
Calamine. 142, 241, 280.
Calcaire, de diverses époques de formation. 156. — Ses caractères, ses variétés. 156, 231.
Calcédoine. 159, 247, 250.
Calcul des analyses. 113.
Calédonite. 137.
Calomel. 134, 200.
Camées agate. 253.
Caoutchouc fossile. 224.
Caractères des corps bruts. 2. — des différents groupes cristallins. 21. — optiques. 63. — électriques. 84. — chimiques. 89. — des diverses espèces minérales. 124, 144.
Carbocérine. 136.
Carbonates, comment on les reconnaît. 95. — Leur nombre. 136, 230. — Carbonate de chaux. 231. — de cuivre. 242. — de fer. 240.
Carbone, indice de sa présence. 97. — Ses divers états. 137. — Caractères des espèces. 210.
Carbures. 137.
Carnatite. 140, 257.
Carpholite. 140, 267.
Cassitérite. 127, 165.
Cassure, ses diverses formes. 62. (Voyez Structure. 55).
Causes des variations des formes. 58.
Célestine. 134, 188.
Cendres noires et rouges. 221.
Cendres bleues et vertes. 242.
Cercle parhélique dans les minéraux. 76.
Cérérite. 142, 280.
Cérine. 135, 279.
Cérium, ses caractères. 101. — Ses combinaisons. 126, 128, 135, 136, 142, 279.
Céruse (son analyse). 105. — Ses caractères. 137, 231, 244.
Chabasie. 141, 265.
Chaleur et froid au contact des minér. 86.
Chalkolite. 131, 173.
Chalkopyrite, Chalkosine. 131, 133, 183.
Chalumeau, son emploi. 91.
Chamoisite. 141, 267.
Charbon de terre. 215.
Chaux, son indice. 99. — carbonatée. 231. — fluatée. 201. — sulfatée. 189.
Chaux grasse, maigre, hydraulique, 235.
Chlore, indices de sa présence. 94, 97. — Ses combinaisons. 134, 197.
Chloropale. 142.
Chlorites. 140, 266.
Chlorures. 134, 197.
Choc du briquet. 85.
Chrichtonite. 126, 165.
Chromates et chromites. 98, 125, 162.
Chrome, indices de sa présence. 96 à 98. — Ses composés. 125, 162.
Chrysocolle. 142.
Chrysolite orientale ou cymophane. 125, 155. — des volcans. 272.
Chrysoprase. 253.
Cinabre. 133, 180.
Cire fossile. 224.
Classification, théorie générale. 117. — Espèces, genres, familles. 119 à 121.
Clausthalie. 131, 194.
Clivage, ses diverses espèces. 55.
Cobalt, indices de sa présence. 98. — Ses arséniures, arséniates, sulfates. 126, 130, 133, 168, 170, 195.
Cobaltine, ou cobalt gris. 126, 170.
Coboldine, sulfure de cobalt. 133.
Coke. 219.
Collyrite. 138.
Colombite. 124.
Colorados, matière argentifère. 149, 197, 200.
Comparaison des analyses. 105.
Composition chimique des minéraux. 89
Condrodite. 155.
Condurite. 130.
Coralloïdes (formes). 49.
Cordiérite. 140.
Corindon. 125, 151.

Cornaline, sa couleur. 78. (Voyez Calcédoine. 248.)
Corps vivants et corps bruts. 1. — Corps simples. 1. — Comment se forment les corps bruts. 5. — Corps bruts natifs. 89. — Electro-positifs et électro-négatifs. 90. — Classification des corps bruts. 118.
Couches, amas, filons, définition. 145.
Couleurs dans les minéraux. 77.
Couperose (voyez Sulfates de fer ou de cuivre. 154, 193.)
Couronnes dans les minéraux. 77.
Craie, sa position dans la série des dépôts sédimentaires. 156, 232, 234. — Craie chloritée. 252, 267. — Craie de Briançon. 273.
Crayons de mine de plomb. 215. — rouges. 157.
Cristal de roche (voyez Quarz). 248.
Cristallisation, comment elle se fait. 7. — Moyens de la faire varier. 38. — (Systèmes de). 21. — Etude des cristeaux. 8 à 47.
Cristallographie, faits fondamentaux. 12. — Modification des formes. 13. — Formes primitives et secondaires. 33, 57.
Cristaux, définitions. 7. — Mesure des angles. 8. — Sont des polyèdres géométriques. 11. — Leurs modifications. 12. — Leurs réunions en groupes, ou systèmes. 21. — Lois de symétrie. 33. — Causes de leurs variations. 38. — Leurs groupements. 41. Transpositions et hémitropies. 43. — Leurs oblitérations. 45. — Leurs clivages. 55. — Cristaux secondaires, leurs lois. 57. — A un axe ou deux axes de réfraction. 68. — Attractifs ou répulsifs. 72.
Crocoïse. 125, 165.
Croisette (voyez Staurotide). 42.
Cryolite. 135, 203.
Cube, son système de cristallisation. 21.
Cuivre, indices de sa présence. 98. — natif. 150. — pyriteux et vitreux. 183. — gris. 133, 186. — jaune. 180. — (arséniate de). 128, 171. — (carbonate de). 136, 242. — (phosphate de). 129, 173. — ses oxydes. 124. — Séléniures, sulfures, chlorures. 133 à 135, 183, 195, 200.
Cyanite ou Disthène. 138, 251.
Cyanose. 134.
Cymolite. 138.
Cymophane. 125, 153.
Cyprine (voyez Idocrase). 265.

D

Datholite. 138, 245.
Davyne. 141.
Décroissement, hypothèse relative aux formes secondaires. 56.
Déliquescence. 84.
Delvaulxine. 131.
Dendrites, formes et structures dendritiques. 48, 60.
Destruction des corps bruts. 3.
Diallage. 143, 275.
Diallogite. 134, 230.
Diamant, sa dureté. 82. — Son angle de polarisation. 73. — Son indice de réfraction. 64. — Ses caractères, son gisement. 210.
Diaspore. 125.
Dichroïsme. 74.
Dimorphisme. 37.
Diopside. 143, 276.
Dioptase. 142.
Diorite (roche). 260.
Dipyre. 140.
Discrase. 126, 167.
Discussions des analyses. 105.
Disomose. 126, 170.
Disthène. 138, 254.
Dodécaèdre rhomboïdal. 14. — bipyramidal. 20. — pentagonal. 36.
Dolérite (roche). 260, 277.
Dolomie. 136, 230, 239.
Dorure. 148.
Double réfraction. 66.
Dureté. 82.
Dusodite. 136.

E

Eau, indices de sa présence dans les corps. 94. — Composition. 136. — Sa manière d'être. 204. — Eaux minérales. 177, 194, 207, 229, 244.
Eau de Seltz. 229.
Eclat des minéraux. 75.
Ecume de mer (magnésite). 275.
Edelforse. 142.
Edingtonite. 141.
Efflorescence. 88.
Egrisée, poussière de diamant. 211.
Elasmose. 132.
Elasticité. 80.
Elatérite (bitume élastique). 221.
Electricité. 85. — Electroscope. 86.
Eléments, leur nombre. 3.
Emeraude orientale (voyez Corindon). 125, 151. — Emeraude. 138, 264.
Emeri ou Emeril. 152.
Enonciation des analyses. 105.
Epidote, genre de minéraux. 264.
Epigénie. 53.
Epistilbite, 141.
Epsomite. 134, 194.
Erinite. 128.
Erytrine. 130, 171.
Escarboucle. 263.
Espèces minérales. 119. — Ses variétés, métis. 123.
Essais chimiques des minéraux. 190.
Etain, indices de sa présence. 98. — Ses minerais. 127, 165.
Euclase. 139.
Euchairite. 133, 174, 195.
Eudyalite. 143.
Euphotide (roche). 260.
Exanthalose. 134.
Existence indéfinie des corps bruts. 3.

F

Faculté conductrice des minéraux. 86.
Familles minéralogiques. 121.
Fassaite. 276.
Federerz. 133.
Feldspath, genre de minéraux. 140, 256. — Vitreux. 259.
Fer, indices de sa présence. 99. — natif ou météorique. 154. — oligiste. 124, 155. — oxydulé, ou magnétique. 159. — hydraté et en grains. 157. — Ses divers oxydes. 124. — (arséniate de). 150, 171. — (chromite de). 125, 162. — (phosphate de). 129, 173. — (carbonate de). 136, 240. — (sulfure de). 135, 181. — (sulfate de). 135, 193. — Carbure (voyez Graphite). 213. — spathique. 240. — Berthiérite et Chamoisite. 141, 267.
Ferrates divers. 124.
Feu d'oxydation et de réduction. 91. — grisou. 225. — naturel. 225.
Filets capillaires, leur production. 51.
Filons, définition. 145.
Flucerine, 135.
Fluor, indices de sa présence. 95, 97. — Ses combinaisons. 135, 201.
Fluorine, son indice de réfraction. 64. — Son angle de polarisation. 73. — Sa phosphorescence. 80. — Ses caractères, son gisement. 135, 201.
Fontaines ardentes. 225.
Forêts sous-marines. 227.
Forme, n'est pas essentielle aux corps bruts. 2. — Formes régulières ou cristallines. 8 — primitives et secondaires. 33, 57. — Lois de symétrie. 55. — Causes des variations des formes. 58. — Isomorphisme. 57. — Formes oblitérées. 45. — irrégulières. 47 à 55.
Formules atomiques. 103.
Fours à cristaux. 250.
Franklinite. 124.
Froid des minéraux. 86.
Fulgurite. 247.
Fumarolles. 208.

G

Gabronite. 140.
Gadolinite. 142, 280.
Gahnite. 125, 155.
Galène. 131, 178.
Gallitzinite. 134.
Gay-lussite. 136.
Gaz, acide carbonique. 228. — sulfureux. 187. — hydrogène simple, carboné, sulfuré. 131, 177, 205.
Gehlénite. 138.
Genres minéralogiques. 120.
Géodes. 53.
Gibsite. 125.
Giéseckite. 140.
Giobertite. 136, 230, 244.
Girasol. 254.
Gismondine. 141.
Glaciers et glacières. 204.
Glaubérite. 135.
Glucine, indice de sa présence. 100. (voyez Emeraude, Euclase, Phenakite),
Gneiss, définitions. 152, 259.
Gœthite. 124.
Goniomètres divers. 8.
Goudron minéral. 221.
Granite, définition. 152. — composition. 259. — orbiculaire. 261.
Graphite. 213.
Gravure sur verre. 202.
Grenaillement des matières minérales. 51.
Grenat (genre de minéraux). Exemple de mélange. 113. — Caractère, gisement. 263.
Grès cristallisé. 52. — de diverses sortes. 156.
Grisou et feu grisou. 225.
Grossulaire. 138, 263.
Groupes cristallins. 21.
Groupements des cristaux réguliers et irréguliers. 40, 47.
Guano. 136, 229.
Gypse. 134, 189.

H

Haidingérite. 130.
Halloysite. 139.
Happement à la langue. 87.
Harmotome. 141, 265.
Hatchetine. 224.
Hausmannite. 124.
Hauyne. 143, 272.
Hédenbergite. 143, 276.
Hématite rouge et brune. 156, 158.
Hémitropie et transposition. 43.
Herborisation ou dendrites. 49.
Hétérosite. 129.
Heulandite. 143, 265.
Hisingérite. 140, 266.
Huile de gabian, ou pétrole. 225.
Hureaulite. 129.
Hyacinthe. 263.
Hyalomicte (roche). 250.
Hydrates, comment on les reconnaît, 94.
Hydrogène. 203. — carboné. 225. — sulfuré. 177.
Hydrolite. 141, 265.
Hydrophane. 249.
Hypérite (roche). 260.
Hypersthène. 143.
Hypostilbite. 141.

I

Icosaèdre naturel. 36.
Idocrase. 138, 263.
Ilvaïte. 138.
Incrustation. 53.
Indices de réfraction. 64.
Indicolite. 270.
Individu minéralogique. 119.
Inflammation des houillères. 219.
Iode, indices de sa présence. 95, 97.
Iodures divers. 135, 201.
Iridium mélangé avec le minerai de platine. 146.

Iris intérieur et superficiel. 79.
Isomorphisme. 37. — éclairé par les formules atomiques. 111.

J

Jais (voyez Jayet). 221.
Jamesonite. 133.
Jaspe. 248. — Jaspe-opale. 249.
Jaune de chrome. 165.
Jayet. 221.
Junckérite. 137.

K

Kaolin. 138, 262.
Karat, poids pour la vente du diamant. 211.
Karsténite. 134, 189.
Kérargyre. 134, 197.
Kérasine. 134, 200.
Kermès minéral. 130, 167.
Kieselmangan. 142.
Klaprothine. 129.

L

Labradorite, ses iris. 79. — ses caractères. 258. — Base des laves. 260.
Lacs salés. 199.
Laiton. 180.
Lampe de sûreté. 226.
Lauarkite. 137.
Lapis-lazuli (voyez Outremer). 143, 271.
Laumonite. 141, 265.
Laves. 137.
Lazulite. 271.
Leadhillite. 137.
Leberkies. 133, 182.
Lenzinite. 138.
Lépidolite. 268.
Ligne neutre de réfraction. 68.
Lignite. 220.
Limonite. 121, 157.
Liroconite. 128.
Lithine, indice de sa présence. 100. — Matière dont on la retire. 258.
Lœlite. 138.
Lois de symétrie. 33. — de cristallisation. 58. — de combinaison. 105, 110.
Ludus Helmontii. 55.

M

Macles (voyez Transposition et Hémitropie). 40.
Macle de Bretagne. 46.
Magnésie, indices de sa présence. 99. — (carbonate de). 136, 230, 244. — (sulfate de). 135, 194.
Magnésite. 142, 273.
Magnétisme. 86.
Maillechort. 170.
Malachite. 136, 242.
Malthe. 137.
Mamelons, ou configuration mamelonnée. 48.
Manganates divers. 124.
Manganèse, indice de sa présence. 98. — Ses oxydes. 126, 160. — (phosphate de). 129, 173. — (silicates de). 142.
Marbre ruiniforme. 78. — Marbre de Bergame. 191. — Diverses espèces de marbres. 236.
Marcassite (voyez Pyrite). 181.
Marceline. 138.
Marbres durs. 261, 236.
Marécanite. 261.
Margarite. 141.
Marmatite. 133.
Marmolite. 142, 274.
Marne (analyse de). 103. — Variétés et emploi. 252, 238.
Meïonite. 140.
Mélange de divers composés, leur discussion. 112.
Mélanite. 138, 265.
Mélaphyre, porphyre à base de labradorite. 260, 277.
Mélinose. 125, 163.
Ménilite. 251.
Mer de glace. 205.
Mercure, indice de sa présence. 98. — Ses combinaisons. 124, 134, 180, 200. — Son gisement. 149, 181.
Mésotype. 142, 265.
Mesure des cristaux. 8.
Métaux natifs. 87, 144.
Méthode naturelle. 117.
Métis minéralogiques. 123.
Mica, son action sur la lumière. 71. — Sa nature. 142, 268.
Micaschiste, définition. 152, 250.
Mimetèse. 128, 171.
Minéraux, définition. 5. — Leurs propriétés physiques. 7. — Leur composition. 89. — Leur essai chimique. 94. — Leur analyse. 101. — Leur classification. 117. — Description des espèces. 144.
Mine de plomb (voyez Graphite). 213.
Mine de... minerai de... (voyez le nom du métal).
Mine de marais (Limonite). 158.
Minium. 101, 124.
Miroir des Incas (voyez Pyrite). 182. — d'âne (voyez Gypse). 191.
Mispikel. 126, 171.
Modification des cristaux. 12.
Mofète. 229.
Molybdène, indice de sa présence. 98. — Son sulfure. 133, 183. — Combinaison de son acide. 125, 163.
Momie. 221.
Mortiers. 255.
Mulage (formes par). 53.
Mullerine. 132, 196.
Muriacite. 189.
Myargyrite. 133, 185.
Mysorine. 136.

N

Naphte. 224.
Natifs (corps). 89.
Natron. 136, 243.
Neiges éternelles. 204.

Néoplase. 135.
Némalite. 142.
Népheline. 140.
Nickel, indice de sa présence. 98. — (arséniure de). 126, 169. — (arséniate de). 130. — Silicate. 267.
Nickeline. 126.
Nickelocre. 130.
Nitrates (voyez Azotates). 208.
Nitre cubique. 209.
Nontronite. 138.
Noyau, ou forme primitive des cristaux 56.

O

Oblitération des cristaux. 45.
Obsidiennes. 140, 261.
Ocre rouge et jaune. 157, 158.
Octaèdres de diverses espèces. 13 à 29. — Octaèdre régulier. 25. — A base carrée. 25. — A base rectangulaire et rhomboïdale. 27.
Odeur et saveur. 87.
OEil de chat (quarz). 252. — Action sur la lumière. 75.
Oligiste, ou fer oligiste. 124, 155.
Oligoclase. 140, 257, 260.
Olivenite. 128.
Olivine, ou péridot. 272.
Onctuosité de certains minéraux. 87.
Onyx. 253.
Opale, ses couleurs. 79. — Ses caractères. 139, 249, 251. — Son emploi. 253.
Opsimose. 142.
Or et ses usages. 147. — Or blanc ou platine. 144, et tellure aurifère. 196. — Or graphique. 196.
Origine des corps bruts. 2, 5.
Orpailleurs. 148.
Orpiment. 133, 171, 186.
Orpin. 187.
Orthose. 140, 257. — Ses roches. 259.
Osmium, indice de sa présence. 97. — Sa combinaison avec l'iridium. 126.
Oxydes, leurs caractères chimiques. 94 à 101. — Oxyde d'étain. 127, 165. — de fer. 124, 155.—de manganèse. 124, 160.
Outremer de cobalt. 169. — naturel. 143, 273.
Ozokérite. 224.

P

Pagodite. 141.
Pacos et Colorados, matières argentifères. 149, 197, 200.
Palladium. 100, 145.
Panabase. 133, 186.
Paraffine. 224.
Parallélipipèdes naturels de diverses espèces. 13 à 30.
Pegmatite (roche). 250.
Peliom. 140.
Pennine. 140, 266.
Péridot. 142, 272.
Perlite. 261.
Peroxide de fer. 155. — de manganèse. 124, 160.
Pesanteur spécifique. 83.
Pétalite. 140, 258.
Pétrification. 53, 54.
Pétrole. 224.
Pharmacolite. 128, 171.
Pharmacosidérite. 130, 171.
Phenakite. 142.
Phillipsite. 133.
Pholerite. 138.
Phosphates, leurs caractères. 96. — Leurs espèces. 129, 172.
Phosphorescence. 79.
Photizite. 142.
Picnite. 135, 205.
Picrolite ou Pikrolite. 143, 274.
Picrosmine. 143, 274.
Pierre d'aigle. 51, 158. — d'aimant. 159. — d'alun. 192. — des amazones. 261. — d'arquebuse. 182. — calcaire. 251. — à fusil. 255. — gélive. 255. — à jésus. 191. — de Labrador, ses couleurs. 79, sa nature. 259. — lithographique. 65, 238.— à plâtre. 191. — à détacher. 255. — de lune, de soleil. 260. — ponce. 261. — météorique. 154. — meulière. 248, 251, 253.
Pimelite. 140, 267.
Pince à tourmaline. 66.
Pinite. 140.
Pisolites, leurs formations. 50. — de fer. 158. — de calcaire. 251.
Pisasphalte. 221.
Pittizite. 134, 194.
Platine. 144. — Ses usages. 146.
Pléonaste. 125, 153.
Plomb, indice de sa présence. 99. — (arséniate de). 128, 171. — (molybdate de). 125, 162. — (phosphate de). 129, 172. (chlorure de). 134, 200. — séléniure. 194. — sulfate. 188. — sulfure. 131, 178.
Plomb blanc (voyez Céruse).
Plomb jaune (voyez Mélinose). 160.
Plombagine, ou Graphite. 213.
Plomb-gomme. 125.
Poches à cristaux. 250.
Poids atomiques. 106, 116.
Poids spécifiques, 83.
Poix minérale. 221.
Polarisation, ce que c'est. 67.—(angle de). 73.
Polariscope d'Amici. 70. — de Soleil. 71.
Polybasite. 133, 186.
Polychroïsme. 74.
Polyhalite. 135.
Polymignite. 126.
Ponce, sa structure. 62. — Sa nature. 140, 261.
Porcellanite. 219.
Porphyre. 259. — orbiculaire. 261.
Potasse, indices de sa présence. 99. — Ses sels divers. 200, 208.
Prime d'émeraude. 202.
Prismes de diverses espèces. 15 à 31. —

Prisme carré. 24. — rectangulaire et rhomboïdal. 26. — oblique. 28. — hexagone régulier. 30. — Groupements de prismes. 11.
Protogyne, sorte de granite. 250.
Proustite. 152, 186.
Psaturose. 133, 185.
Psilomélane. 124, 162.
Puits absorbants. 205.
Puits artésiens. 206.
Pyrallolite. 143, 274.
Pyramides de diverses espèces. 16, 20.
Pyrite. 133, 181. — blanche. 181. — de cuivre. 152, 183. — magnétique. 182.
Pyrochlore. 126.
Pyrolusite. 124, 160.
Pyroxène. 143, 276.

Q

Quarz, ou cristal de roche, exemple du système rhomboédrique. 33. — Couches d'accroissement. 59. — Sa cassure conique et conchoïdale. 63. — Sa compacité. 61. — Son indice de réfraction 64. — Sa double réfraction. 66, 68, 72. — Son angle de polarisation. 75. — Ses caractères. 246. — Son gisement. 249. — Ses usages. 252.
Quarz haché. 62.

R

Réalgar. 133, 171, 186.
Réfraction simple et double. 63, 66.
Rétinasphalte. 223.
Retinite. 140, 261.
Retrait, formes et structures qu'il produit. 55, 61.
Rhodhalose. 134.
Rhodium. 145.
Rhodoïse. 130.
Rhodonite. 142.
Rhomboèdres et rhomboïdes. 32.
Ripidolite. 140. 266.
Rodoïse, rodonite, 130, 142.
Rognons cristallins. 48. — compactes. 51.
Rose, taille du diamant. 212.
Rouge de Prusse. 157.
Rubellite. 270.
Rubis, corindon rouge. 151.
Rubis balais. 155.
Rutile. 126, 164.
Ryakolite. 140, 259.

S

Safre, préparation de cobalt. 169.
Salmare. 134, 197.
Salmiac, 134, 200.
Salpêtre. 136. 208.
Sanguine. 157.
Saphir, corindon. 125, 152.
Saphirine. 141.
Sassoline (acide borique). 244.
Saveur. 87.
Savon de montagne. 139.
Schéelite, schéelitine. 124, 164.
Schéelin calcaire, ferruginé. 124, 164.
Schérerite. 224.
Schiste alumineux. 195. — argileux et micacé. 152. — bitumineux. 216. — cuivreux. 184. — Structure schisteuse. 60.
Scolézite. 141, 265.
Scorodite. 128.
Sel ammoniac. 200, 219. — d'Epsom. 194. — Gemme ou sel marin, son indice de réfraction. 64, ses caractères. 134, 197.
Sélénite. 189.
Sélénium, indice de sa présence. 94, 96.
Séléniures divers. 131, 194.
Serpentine. 143, 274.
Sévérite. 158.
Sidérétine. 130, 171.
Sidérochrome. 125, 162.
Sidéroschisolite. 140, 267.
Sidérose. 136, 250, 240.
Siénite (roche). 259.
Signes atomiques. 103. — chimiques et minéralogiques. 110.
Signes cristallographiques. 58.
Silex, ou calcédoine. 247. — carié et nectique. 248.
Silicates, leurs caractères chimiques. 95. — Leurs espèces. 139, 254.
Silice, ses caractères. 96. — Ses variétés. 246.
Sillimanite. 138.
Smalt, verre de cobalt. 169.
Smaltine. 156, 168.
Smaragdite. 260, 275.
Smithsonite. 136, 241.
Sodalite. 142.
Solides réguliers ou cristaux. 7, 15.
Sordawalite. 143.
Soude, indice de sa présence. 100. — Ses sels. 194, 197, 209. 243.
Soufflards ou fumarolles. 208.
Soufre, indice de réfraction. 64. — Angle de polarisation. 73. — Indice de sa présence. 94. — Ses variétés. 174. — Ses combinaisons. 151, 176.
Sources. 207. — salifères. 189.
Spath calcaire. 237. — fluor. 201.
Spath d'Islande, sa double réfraction. 66.
Sperkies. 133, 181.
Spessartine. 138, 265.
Sphène. 126, 165.
Sphérolite. 261.
Sphérostilbite. 141.
Spinelle. 125, 153.
Spinellane. 143.
Spodumène (voyez Oligoclase et Triphane). 140, 257, 258.
Stalactites. 3, 50.
Stannine. 133.
Staurotide, 138, 254.
Stéatite. 142, 273.
Stilbine. 133, 184.
Stilbite. 140, 265.
Stipite. 217.
Strass, imitation du diamant. 215.
Stromeyerine. 133.
Stromnite. 137, 244.

Strontiane, indice de sa présence. 99. — Ses combinaisons. 188, 231, 244.
Strontianite. 137, 231, 244.
Structure régulière. 55. — irrégulière. 59. — schisteuse. 60.
Succin. 221.
Suif fossile. 224.
Sulfates, comment on les reconnaît. 95. — Leurs espèces. 154, 187 à 194.
Sulfures, comment on les reconnaît. 94. — Leurs espèces. 151, 176.
Sylvane. 152, 196.
Sylvine. 154, 200.
Symétrie des modifications. 33.
Système atomique. 106.
Systèmes de cristallisation. 32. — Leurs variations. 39.

T

Table des poids atomiques. 116.
Tableau des espèces. 124.
Tables cristallines. 45.
Talc. 142, 273.
Tantale et tantalates, leurs caractères. 96. — leurs espèces. 124, 163.
Tellure, caractères. 94, 96. — natif et ses combinaisons. 150, 195.
Température, son influence sur la cristallisation. 38, sur les systèmes de cristallisation. 40.
Terrains de cristallisation et de sédiment. 144. — Leurs divisions. 156.
Terre d'Italie, terre d'ombre, terre de Sienne. 139. — de Cologne. 227. — à foulon. 255. — à porcelaine. 262. — de Vérone et terre verte. 140, 145, 267. — de pipe. 255.
Terres fortes, terres franches, 255.
Tétraèdre, ses modifications. 13. — régulier. 23.
Thallite. 140, 264.
Théorie atomique. 106.
Thénardite. 124, 194.
Thomsonite. 141, 265.
Thorine, ses caractères. 100. — Substance qui la renferme. 280.
Thorite. 142, 280.
Titane, titanates. 96, 126, 164.
Topaze orientale (voyez Corindon), 151, et Cymophane. 153.
Topaze, son indice de réfraction. 64. — Son angle de polarisation. 73. — Sa composition. 155. — Ses caractères. 202. — Topaze brûlée. 202.
Tourbe. 227.
Tourmaline, ses défauts de symétrie. 36. — Son électricité. 86. — Ses caractères. 142, 270.
Trachytes. 157, 260,
Transformation atomique des analyses. 107. — Transformation des signes minéralogiques en signes chimiques. 111.
Transposition et Hémitropie. 43.
Trapézoèdre. 13.
Trémies, leur production. 47.
Trémolite. 145, 277.
Tribus minéralogiques. 120.
Triklasite. 158.
Triphane. 140, 258.
Triphyllite, 129.
Triplite. 129, 173.
Tripoli des houillères enflammées. 219.
Tuf calcaire. 233. — d'opale. 249, 252.
Tungstène et tungstates. 96, 124, 164.
Turquoise. 173.

U

Urane, indice de sa présence. 101. — Ses combinaisons. 125, 163.
Uranite. 131. 173.
Urao. 156, 243.

V

Vanadium, caractères de son acide. 96.
Variations des formes cristallines. 38.
Variétés de l'espèce minérale. 123.
Variolite. 259.
Vases murrhins. 202.
Vauquelinite. 125, 163.
Végétaux fossiles du terrain houiller. 217.
Vermillon. 180.
Verre capillaire de Bourbon. 51.
Verre trempé. 67.
Vert de montagne. 242.
Vert de Riumann. 169.
Vert de Schéele. 171.
Volcan de boue. 225.

W

Wagnerite. 129.
Wawelite. 131.
Webstérite. 135, 193.
Wernérite. 140.
Withérite. 137, 231, 244.
Willelmine. 142.
Wolfram. 124, 164.
Wollastonite. 142.

Y

Ypolejme. 129.
Yttria, caractères. 101. — Substances qui la renferment. 280.
Yttrocérite. 135.
Yttrotantale. 124.

Z

Zéolites. 265.
Zinc, indice de sa présence. 98. — carbonaté. 156, 241. — sulfaté. 154, 193. — sulfuré. 151, 179. — (silicate de). 142, 280.
Zinconise. 137, 242.
Zinkénite. 133.
Zircon, son indice de réfraction. 64. — Son angle de polarisation. 73. — Ses caractères. 142, usages, 279.
Zircone, ses caractères. 101. — Substances qui la renferment. 126, 142, 143, 279.
Zoïsite. 126, 264.

COURS ÉLÉMENTAIRE

D'HISTOIRE NATURELLE.

LE COURS ÉLÉMENTAIRE

D'HISTOIRE NATURELLE

SE COMPOSE DE

LA ZOOLOGIE,

PAR M. MILNE-EDWARDS.

1 volume in-12, figures. — Prix : 6 francs.

LA MINÉRALOGIE ET LA GÉOLOGIE,

PAR M. F.-S. BEUDANT.

1 volume in-12, figures. — Prix : 6 francs.

LA BOTANIQUE,

PAR M. A. DE JUSSIEU.

1 volume in-12, figures. — Prix : 6 francs.

Imprimerie de Bourgogne et Martinet, rue Jacob, 30.

COURS ÉLÉMENTAIRE

D'HISTOIRE NATURELLE

A L'USAGE

DES COLLÉGES ET DES MAISONS D'ÉDUCATION,

RÉDIGÉ

CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DE L'UNIVERSITÉ DU 14 SEPTEMBRE 1840;

PAR MM.

F.-S. BEUDANT, MILNE-EDWARDS ET A. DE JUSSIEU.

Adopté

PAR LE CONSEIL ROYAL DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE POUR L'ENSEIGNEMENT DANS LES COLLÉGES.

MINÉRALOGIE.—GÉOLOGIE.

PAR M. F.-S. BEUDANT,

de l'Académie royale des Sciences, Inspecteur général des Etudes, etc.

—⁂—

Géologie.

—⁂—

PARIS

LANGLOIS ET LECLERCQ, Rue de la Harpe, 81. | FORTIN, MASSON ET Cie, Place de l'École-de-Médecine, 1.

MÊMES MAISONS, CHEZ L. MICHELSEN, A LEIPZIG.

a.

PROGRAMME

POUR

L'ENSEIGNEMENT DE L'HISTOIRE NATURELLE

DANS LES COLLÉGES,

ADOPTÉ PAR LE CONSEIL ROYAL DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE

(14 septembre 1840).

RÈGNE MINÉRAL.

GÉOLOGIE*.

XXIX. Notions sur la forme générale de la terre et sur la composition de son écorce solide.

Phénomènes géologiques de l'époque actuelle. — Tremblements de terre, — soulèvements, — volcans, — alluvions, — formations madréporiques, etc.

XXX. *Applications de ces notions à l'étude du mode de formation de la croûte solide du globe :* — terrains de sédiment et terrains de cristallisation, — leurs caractères. — Superposition des couches. — Notions sur les fossiles. — Ages relatifs des divers dépôts de sédiment indiqués par la nature des fossiles, les rapports de superposition, les différences d'inclinaison, etc.

XXXI. Notions sur les principaux dépôts de sédiment ; — notions sur les terrains de cristallisation ; — principales roches de cristallisation, leur mode de formation et leur apparition à diverses époques ; — influence de ces roches sur les dépôts de sédiment.

* Le programme de Minéralogie est en tête du volume qui traite de cette partie d'Histoire naturelle.

XXXII. Notions sur les grands dépôts de combustibles, de matières salines et de minerais: — gisement des pierres précieuses. — Sources et puits artésiens.

XXXIII. Résumé sur les révolutions du globe, et coup d'œil sur les animaux et les végétaux qui en peuplaient la surface aux diverses époques géologiques

TABLE ANALYTIQUE

DE LA GÉOLOGIE

PAR ORDRE DE LEÇONS.

PREMIÈRE LEÇON.

PHÉNOMÈNES ACTUELS.

Notions préliminaires. — Isolement de la terre, sa forme. Peu d'importance des montagnes relativement au volume du globe. Gravitation, aplatissement de la terre aux pôles. Densité moyenne de la terre. Chaleur centrale. Page 1 à 6.

Étendue relative des terres et des mers; relief des parties solides du globe. Fond des mers. Forme des montagnes, chaînes de montagnes et leur croisement. Caractères des vallées. Plaines basses et plaines hautes ou plateaux. 7-16.

Distribution de la chaleur à la surface du globe; lignes isothermes, isochimènes, isothères. Climats extrêmes. 16-19.

Tremblements de terre. — Caractères de ces phénomènes, leurs effets, crevassements, soulèvements, affaissements subits de terrain qu'ils produisent. 19 à 24.

Constance du niveau des mers. Soulèvements lents et progressifs de diverses parties du globe. Affaissements corrélatifs. 24-26.

Phénomènes volcaniques. — Idée générale, exemple d'explosion; conduit permanent, définition d'un volcan. Éruptions sous-marines. Phénomènes qui les accompagnent. 27-33.

Cratères de soulèvement, leurs caractères. Effondrements des cônes de soulèvement, exemple. Effets postérieurs, cônes et volcans au milieu des cratères de soulèvement. 33-40.

Diverses époques de la formation d'un volcan. Variation du cône terminal de scories. Intérieur des cratères; Stromboli, etc. Solfatares. 40-44.

Commencement des éruptions volcaniques, cendres, rapilli. Éruption des matières fondues. Forme des courants suivant les pentes, variation corrélative de la lave. Filons des laves, dikes. Estimation de l'énergie volcanique. 44-51.

Nature des produits volcaniques solides. Étendue de leurs dépôts. Produits gazeux. Éruptions boueuses de Java et de Quito. Gaz dégagé des laves. 51-56.

Salzes ou volcans d'air. Fumarolles et geyser. Sources thermales. 57-60.

Influence des agents extérieurs. — Effets atmosphériques, dégradations qui leur sont attribuées. Action des vents, dunes. Action dissolvante des eaux, action délayante; effets du poids, action des eaux courantes, débâcles des lacs. Torrents boueux. Pentes des torrents et des rivières. Action des vagues et des marées, exemple de ruptures produites. Cailloux roulés. Transport par les glaces et glaciers; Stries, cannelures, polissage des roches. 60-78.

Dépôts formés par les eaux. Alluvions, atterrissements, deltas, plages de sable, bancs de gallets; amas de débris végétaux. Dépôts de matières tenues en solution, tufs calcaires, tufs silicieux. 78-83.

Structure des dépôts de sédiment. Effets de chute, effets d'entraînement, effets des mouvements oscillatoires, stratification. Nature des dépôts, débris organiques. 83-88.

Recifs madréporiques. Iles madréporiques et recifs soulevés. Tourbières, leurs caractères, leurs positions. 88-94.

DEUXIÈME LEÇON.

APPLICATION AUX PHÉNOMÈNES ANCIENS.

Résumé des phénomènes actuels. 94-99.

Conséquences de la chaleur centrale. — Premier effet du refroidissement du globe. Effet du refroidissement intérieur actuel. Origine des sources chaudes. Ancienne élévation de la température moyenne de l'Europe. Causes présumées de cette élévation. 99-104.

Dépôts attribuables à des sédiments. — Dépôts d'eau douce, leurs caractères. Dépôts marins, caractères des débris organiques qu'on y trouve. Dépôts de foraminifères et d'infusoires. Dépôts charbonneux, leurs analogies avec les tourbières. Dépôts adventifs formés par des sources. 104-117.

Effets attribuables à des soulèvements ou des affaissements. — Comment cette idée est la seule admissible. Dépôts coquilliers et plaques soulevées, temple de Sérapis. Conclusion. Dépôts affaissés, forêts sous-marines, couche et boue de Portland, empreintes de pieds d'animaux. Affaissement de la mer Caspienne et de la mer Morte. Cratères d'effondrement, cratères-lacs, restes d'anciens continents. 117-126.

Redressements et dislocations attribués à des soulèvements. — Pourquoi il faut supposer des redressements. Failles, dispositions cratériformes dans les terrains granitiques et calcaires, aussi bien que dans les terrains volcaniques. Redressements et contournements sans dislocation. Plissements des couches schisteuses et des houilles. 126-135. Origine des vallées, influence des eaux sur elles. Trois espèces de vallées. Origine des cavernes. 135-140.

Dépôts et effets attribuables à l'action volcanique. — Cônes volcaniques et courants de laves anciens. Dépôts basaltiques en coulées, en nappes, en buttes, en filons. Action des basaltes sur les roches adjacentes. Étendue des basaltes. Chaussées des géants. Grotte de Fingal. 140-150.

Formation trachytique, ses caractères; détails sur quelques groupes trachytiques. 150-155.

Diorite, roche trappéenne, amygdaloïdes. Analogie avec les dispositions des basaltes et des trachytes. Action sur les roches adjacentes. 155-157.

Serpentine, diallage, porphyres divers. Position. Action sur les roches de sédiment. 157-159.

Roches granitiques. Preuves de l'ancien état de fusion; action sur les roches traversées. 159-162.

Gîtes métallifères, filons, amas, formés par l'action ignée. 162-165.

Métamorphisme. 165-168.

Effets attribuables à l'érosion des eaux. — Morcellement des terrains meubles, rupture des roches diverses, usure et sillonnement des montagnes, transport des blocs. 168-172.

TROISIÈME LEÇON.

COMPOSITION DE LA CROUTE TERRESTRE.

Terrains de sédiment. — Coup d'œil général. Tableau des dépôts de sédiment principaux. Difficulté de se reconnaître dans ces dépôts, moyens. Diverses sortes de stratifications, difficultés d'observation. Caractères fournis par les débris organiques, exemples de leur importance. Nature des dépôts de sédiment. 173-185.

Étude des terrains de sédiment. — Terrains cambrien et silurien, leurs débris organiques particuliers. Terrain devonien, ses restes organiques, ses dépôts de combustibles. 186-188.

Terrain houiller. Calcaire carbonifère et ses débris organiques. Grès houiller, ses débris végétaux et animaux. Étendue de ces terrains, carte des dépôts houillers de la France. 190-200.

Terrain pénéen, grès rouge, schiste cuivreux, zechstein et sel commun; calcaire magnésien de l'Angleterre. 200-201. — Grès vosgien. 202.

Terrain de trias, grès bigarré, marnes irisées, calcaire conchylien. Débris organiques. Dépôts adventifs et sel commun. 202-205.

Terrain jurassique. Système de lias, ses coquilles caractéristiques, reptiles, poche d'encre, débris végétaux et lignites. 206. — Système oolitique; groupe de la grande oolite, groupe oxfordien, groupe corallien, groupe portlandien, débris organiques de ces divisions, végétaux, lignites. Carte des dépôts jurassiques en France. 211-220.

Terrains crétacés inférieurs; dépôt néocomien, dépôt wealdien, grès vert et craie tufau. Débris organiques, lignites. 221-227.

Terrain crétacé supérieur, ses débris organiques. Calcaire à hippurites, calcaire à nummulites. Lignite. Étendue des terrains crétacés. 227-253.

Terrain parisien de diverses contrées. Calcaire siliceux, meulière et gypses subordonnés, débris de coquilles et pachydermes, lignites. Étendue de ses dépôts. 254-259.

Terrain de molasse, ses débris fluviatiles et marins, débris de mammifères, végétaux, lignites. Gypse d'Aix. Étendue de ce terrain. 259-245.

Terrain subapennin, ses débris analogues à ceux des mers, ses dépôts fluviatiles; lignites. Cavernes à ossements. Apparition des éléphants. 245-250.

Alluvions anciennes. Sol de Paris, vallée du Rhône, plaines de la craie. Derniers débris d'éléphants, megatherium. Rochers polis et striés, dépôts erratiques. Alluvions modernes. 250-257.

QUATRIÈME LEÇON.

Terrains de cristallisation. — Caractères des principales espèces de roches. Époques diverses d'apparition. Influence sur les dépôts sédimentaires. 258-270.

Composition géologique de la France. — Partage en diverses régions, caractères de chacune d'elles. 271-274.

Ages relatifs des principales catastrophes du globe. — Moyen de distinction. Systèmes de soulèvements. Leurs directions, leurs positions géographiques en France, leurs époques relatives, leur extension sur le reste du globe. 275-295.

État de l'Europe aux diverses époques de formation. — Détails sur l'étendue des terres et des mers à chaque époque. Cartes de l'Europe à ces époques. Animaux et végétaux de chacune d'elles. 296-315.

Déluge de Moïse. Avenir du globe. Géogénie génésiaque, la seule digne d'attention. 316-322.

OBSERVATIONS.

Nous croyons devoir encore présenter ici quelques uns des moyens que l'on peut prendre pour employer avec fruit le peu de temps réservé à la Géologie.

1° Pour ce qui regarde les phénomènes actuels, il est nécessaire d'avoir de grands dessins des principaux faits observés, et les reliefs du Vésuve et de l'Etna, par MM. Dufresnoy et Élie de Beaumont. La leçon ne doit être en quelque sorte que l'explication de ces figures.

Quelques coquilles vivantes, marines, fluviatiles et terrestres, quelques madrépores des recifs, quelques échantillons de tourbe et de produits volcaniques, tous bien étiquetés, après avoir été seulement indiqués pendant la leçon, doivent être laissés sous les yeux des élèves jusqu'à la leçon suivante.

2o Pour la leçon d'application aux phénomènes anciens, il faut quelques échantillons bien choisis et bien étiquetés de coquilles fossiles, d'encrinites, d'échinides, de madrépores, qu'on puisse comparer à ce qui existe actuellement. On se procurera des dessins de failles et de crevassements; le relief des crevassements du Jura par M. Agassiz; des dessins de filons, d'injection de roches, de buttes basaltiques et des érosions attribuables aux eaux. On aura des échantillons des principales roches qu'on est obligé de citer, des passages des dépôts sédimentaires aux roches métamorphiques; et ces collections bien étiquetées seront mises sous les yeux des élèves hors de la leçon.

3o Pour faire connaître la composition de la croûte terrestre, on doit, dans la leçon, se borner à définir les principales roches de sédiments, à indiquer par des figures les diverses stratifications, à donner les généralités sur les variations des fossiles d'une époque à l'autre, enfin à présenter le tableau des terrains qu'on aura fait tracer en grand.

On devra se procurer une collection bien composée, bien étiquetée, des terrains; mais non pour la décrire en classe, ce qui ne produirait aucun résultat. On la placera dans un endroit convenable, où les élèves puissent facilement l'étudier dans l'intervalle des leçons.

4o On donnera de même les généralités sur la composition des principales roches de cristallisation, dont la série aura été mise sous les yeux des élèves avec la collection précédente.

Quant à la géologie de la France, aux principales catastrophes du globe, aux différents états de l'Europe pendant les diverses périodes de formation, l'explication doit s'en faire sur des cartes convenablement disposées, dont la vue seule fournira plus de la moitié.

Par tous ces moyens les leçons peuvent devenir assez courtes, et laisser du temps pour diverses interrogations. On doit veiller encore ici à ce que dans l'intervalle des leçons les élèves lisent avec soin la partie de l'ouvrage qui a rapport à la dernière.

FAUTES ESSENTIELLES A CORRIGER.

Page	6.	Ligne dernière,	sur les méridiens, *lisez :* sur le méridien.
	46.	37,	inférieure, *lisez :* intérieure.
	59.	3,	Monte Carboli, *lisez :* Monte Cerboli.
	72.	8,	les terrains boueux, *lisez :* les torrents boueux.
	77.	2,	délayés, *lisez :* déblayés.
	83.	19,	très véritable, *lisez :* très variable.
	103.	40,	*après* qui en présente encore, *ajoutez :* les indices.
	116.	19,	c'est pas, *lisez :* c'est à.
	120.	14,	dans lesquelles, *lisez :* avec lesquelles.
	129.	29,	Astronis, *lisez :* Astroni.
	144.	23,	paraît le prouver, *lisez :* paraît prouver.
	—	35,	cette espace, *lisez :* cette espèce.
	160.	4,	Glen-Titt, *lisez :* Glen-Tilt.
	180.	18,	de *Gryphée arquée*, *lisez :* de la *Gryphée arquée.*
	197.	17,	*Amblyptreus*, lisez : *Amblypterus.*
	201.	13,	Zeichstein, *lisez :* Zechstein.
	221.	7,	*Neocomium*, lisez : *Neocomum.*
	230.	5,	les grands corps vivants, *lisez :* les corps vivants.
	235.	6,	réprouvé, *lisez :* réprouvée.
	—	34,	sa vitesse, *lisez :* la vitesse.
	259.	4,	*Alblie*, *lisez :* Albite.
	261	dernière,	trappe, *lisez :* trapp.

COURS ÉLÉMENTAIRE

DE GÉOLOGIE.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

SUR LE GLOBE TERRESTRE.

1° DU GLOBE EN GÉNÉRAL.

§ 1. **Isolement dans l'espace, forme.** — La manière dont les objets se montrent successivement en mer, du moment où ils commencent à paraître à l'horizon jusqu'à celui où ils s'aperçoivent tout entiers, conduit invinciblement à reconnaître que la masse aqueuse du globe est convexe dans tous les sens. L'expédition de Magellan, et tous les voyages faits depuis trois siècles par mer et par terre, confirment en tous points les conséquences de cette première observation, et nous montrent, du moins de l'est à l'ouest, que la terre est complétement isolée dans l'espace. Si les glaces accumulées aujourd'hui vers les pôles ont empêché de faire le tour du globe du nord au sud, la convexité générale qu'on remarque en ce sens dans toute la partie qu'on peut parcourir, l'apparition successive de nouvelles étoiles lorsqu'on va d'un pôle à l'autre, la projection de l'ombre de la terre sur le disque lunaire pendant les éclipses de lune, enfin l'analogie générale de la terre avec les planètes, sont plus que suffisantes pour établir, en toute rigueur, que l'isolement est complet dans ce sens comme dans l'autre. C'est donc pour nous un fait irrévocablement acquis que la terre est un corps sphéroïdal isolé de toutes parts dans l'espace. Les montagnes qui se trouvent à sa surface, n'étant rien relativement à son diamètre, en altèrent peu l'uniformité, et les plus hautes y produisent en réalité beaucoup moins d'effet que les rugosités qu'on remarque à la surface d'une orange.

Il est nécessaire de se bien pénétrer de cette dernière vérité, pour ne pas donner aux rides du globe plus d'importance qu'elles n'en ont effectivement. Nous en prenons toujours des idées très exagérées, parce que, les voyant de trop près et trop indépendamment de l'étendue de la terre, c'est à nous-mêmes, à tous les objets qui nous entourent ordinairement, que nous les comparons : aussi une montagne de 3 000 mètres de hauteur, comme l'Etna, par exemple, nous paraît-elle quelque chose de gigantesque ; mais si, comme dans la fig. 1, la vue peut embrasser seulement 10 à 12 lieues d'étendue, nous sommes surpris du peu d'effet qu'une telle masse produit : que serait-ce si nous pouvions voir tout un hémisphère !

Fig. 1. *Vue et profil de l'Etna et de la contree environnante jusqu'au niveau de la mer.*

Ces réflexions nous montrent que, pour indiquer le profil des montagnes et y tracer leur composition, il faut bien se garder de prendre des échelles différentes pour les hauteurs et les distances, en doublant, triplant, etc., les premières, comme on le fait presque toujours : cette manière d'agir n'est propre qu'à fausser de plus en plus les idées que nous prenons naturellement. A la vérité, il n'est pas possible, dans nos livres, de peindre le relief des montagnes sans l'exagérer considérablement, ce qui prouve d'une autre manière qu'il est insensible ; mais il vaut mieux y renoncer que de donner à l'esprit des habitudes qui l'empêcheront toujours de voir juste en cette matière.

§ 2. **Gravitation.** — De l'isolement de la terre dans l'espace découle nécessairement le principe de la tendance de tous les corps vers son centre ; car rien ne s'échappe de notre globe pour se porter dans l'immensité, et les corps qui se trouvent accidentellement lancés hors de sa surface y reviennent toujours avec rapidité. Cette tendance de tous les corps au centre de la terre est ce qu'on nomme la *pesanteur*, et l'expression d'*attraction terrestre*, qu'on regarde souvent comme indiquant la cause, réellement inconnue, du phénomène, n'est qu'une autre manière d'énoncer le même fait, qu'on rapporte alors à la terre ; c'est comme si l'on disait : La terre a la propriété d'attirer constamment vers son centre toutes les parties matérielles qui la composent, tous les corps qui sont à sa surface, et tous ceux qui peuvent être placés autour d'elle à distance. L'en-

semble des observations permet d'ajouter que l'intensité de cette action diminue, non pas comme l'augmentation de distance au centre, mais en proportion des carrés de ces distances ; ou, comme on le dit, que la force attractive agit en raison inverse du carré des distances, en s'étendant jusqu'à l'infini.

La terre est donc comme un amas de particules qui seraient réunies et condensées par cette tendance générale de la matière au centre ; et la forme sphéroïdale qu'elle présente semble indiquer qu'en un certain moment les particules ont eu assez de liberté pour glisser les unes sur les autres, et se concentrer sous la condition la plus stable d'équilibre.

§ 3. **Aplatissement vers les pôles.** — Il n'est pas moins constaté, par la mesure directe des portions de méridiens terrestres qui correspondent à un degré de latitude sur différents parallèles, que la terre est aplatie vers les pôles, ou, si l'on veut, renflée à l'équateur. En effet, les portions d'arc mesurées à différentes latitudes vont constamment en augmentant de l'équateur aux pôles, et le calcul montre ensuite que le globe terrestre est un sphéroïde qui présente environ 42000 mètres de différence entre ses deux diamètres (1).

Cette observation nous ramène encore à l'idée que les particules matérielles du globe n'ont pas toujours été à l'état d'agrégation que nous observons aujourd'hui ; il faut nécessairement qu'elles aient eu, à une certaine époque, assez de mobilité pour glisser les unes sur les autres et céder ainsi à l'action de la force centrifuge, produite par la rotation diurne, qui a fait gonfler la masse à l'équateur ; c'est après l'effet accompli qu'elles ont dû définitivement se consolider. Il faut donc de toute nécessité admettre primitivement un état pâteux du globe, sauf à chercher ensuite quel en a été l'agent, § 6.

§ 4. **Variation de densité de la surface au centre.** — La pesanteur diminue graduellement du pôle à l'équateur; d'un côté parce que les rayons terrestres sont inégaux, et que les corps pèsent moins à mesure qu'ils sont plus éloignés du centre, § 2; de l'autre, parce que la force centrifuge, opposée à l'action de la pesanteur,

---

(1) En calculant les dimensions du sphéroïde capable des arcs mesurés, on trouve que :

Le rayon de l'équateur est de.	6376986 mètres.
Le rayon du pôle.	6356324 mètres.
Le rayon moyen de	6366745 mètres.
La surface de	5094321 myr. carrés.
Le volume de.	1079255800 myr. cubes.

est nulle aux pôles, situés sur l'axe de rotation, tandis qu'elle atteint son maximum à l'équateur. Cette diminution graduelle est mise en évidence par l'observation du pendule, qu'il faut raccourcir successivement sur les différents parallèles, en allant du pôle à l'équateur, pour avoir des oscillations de même durée. Mais si l'on calcule les effets de l'accroissement de distance au centre et de la force centrifuge, en supposant le globe homogène, on trouve à l'équateur une diminution de pesanteur moindre que celle qui résulte de l'observation directe; et ce n'est qu'en admettant que la densité du globe va successivement en augmentant de la surface au centre, qu'on peut arriver à faire cadrer le calcul avec les résultats de l'expérience. Plusieurs autres phénomènes conduisant à la même hypothèse, on a lieu de penser que le globe est composé de couches concentriques de différentes matières, dont les poids spécifiques, ou densités, sont progressivement croissants. Ceci ne peut provenir encore que d'un état primitif de fluidité assez parfaite pour permettre aux molécules matérielles de se placer dans l'ordre de leurs densités respectives.

§ 5. **Densité moyenne du globe terrestre.** — Newton a été conduit, par l'ensemble des phénomènes astronomiques, à penser que l'attraction était une propriété générale de la matière, et que tous les corps s'attiraient en raison directe de leur masse, et en raison inverse du carré des distances. Cette idée a été depuis vérifiée par la déviation du fil à plomb près des grandes masses de montagnes, et, plus nettement encore, par les expériences de Cavendish au moyen de la balance de torsion.

On a fait servir ces observations à la recherche de la densité moyenne du globe; pour cela, on a déterminé la force attractive des corps dont on a pu évaluer la masse (produit du volume par la densité), on l'a comparée à la force attractive du globe, dont on peut avoir approximativement le volume, et par conséquent la masse qui comprend la densité inconnue, que par là on peut déterminer (1). La densité moyenne a été évaluée par Maskeline

(1) Cavendish, faisant osciller le levier de la balance de torsion devant deux sphères de plomb qui l'attiraient, a déterminé l'intensité de la force attractive de ces masses. Il l'a comparée alors à l'intensité de la pesanteur déterminée dans le même lieu par les oscillations du pendule. Soit g l'intensité de la force attractive des masses de plomb, G l'intensité de l'attraction terrestre, m la masse des sphères dont le rayon est r, M la masse de la terre du rayon R; on a $g : G :: \frac{m}{r^2} : \frac{M}{R^2}$. Si d est la densité du plomb, D la densité cherchée de la terre, on a $m = \frac{4}{3}\pi r^3 d$ et $M = \frac{4}{3}\pi R^3 D$. De ces relations on tire $D = \frac{G r d}{g R} = 5,48$.

à 4,56, que la correction de Playfair porte à 4,7 ; mais l'expérience de Cavendish a donné 5,48, l'eau étant prise pour unité. Des expériences plus récentes et très nombreuses, faites avec beaucoup de soin par M. Riech, ont donné pour résultat 5,44, et celle de M. Bailly, 5,67. On peut, d'après ces données, calculer approximativement le poids même du globe terrestre, qu'on trouve de 6259534 milliards de milliards de kilogrammes. Toutes ces expériences font voir que la densité moyenne du globe est plus grande que celle des matières qui en composent principalement la surface ; car le calcaire, le quarz, le feldspath, qui en sont les éléments principaux, n'ont guère pour poids spécifique que 2,5 : il faut donc que le centre du globe soit occupé par des matières fort pesantes pour arriver à la moyenne que nous venons d'indiquer. L'observation du pendule à de grandes profondeurs fait porter cette densité jusqu'à 12, et en montre ainsi l'accroissement rapide à mesure qu'on descend au-dessous de la surface terrestre.

§ 6. **Chaleur centrale.** — L'observation démontre que les variations de température produites par les saisons ne se font sentir qu'à une faible distance dans l'intérieur de la terre ; elle fait voir aussi qu'à une petite profondeur, variable suivant les lieux, la température du sol est stationnaire et égale à la température moyenne de la localité. Au-dessous de ce dernier point un autre phénomène se présente : la température s'accroît successivement à mesure qu'on descend plus avant, et le résultat des observations faites jusqu'ici donne un accroissement de 1 degré par chaque 33 mètres de profondeur. De là il résulte que vers 3 kilomètres au-dessous du point de température stationnaire, on doit trouver déjà 100 degrés, température de l'eau bouillante ; et que, si la loi se continue régulièrement, on aurait à 20 kilomètres 666 degrés, température à laquelle la plupart des sulfures ainsi qu'un grand nombre de corps sont en pleine fusion. Vers le centre, à 6366 kilomètres, en supposant le même accroissement, on aurait par conséquent une température de 200000 degrés, dont nous ne pouvons nous faire aucune idée ; mais il n'est guère probable que la chaleur s'accroisse toujours uniformément ; il est à croire que bientôt il se fait un équilibre général, et qu'à une profondeur de 150 à 200 kilomètres il s'établit une température uniforme de 3000 à 4000 degrés, la plus forte que nous puissions produire, et à laquelle rien ne résiste.

De ces observations il résulte, non seulement que la terre aurait été fluide à une certaine époque, comme nous l'avons déduit ci-dessus de sa forme, § 3, mais même qu'elle le serait encore, et

que sa surface seule se serait consolidée, en perdant dans l'espace sa chaleur primitive, sur une épaisseur de 20 kilomètres, pour un grand nombre de substances, à 40 pour les plus réfractaires.

Cette épaisseur de la couche solide du globe n'est que fort peu de chose relativement au rayon terrestre, qui est de plus de 6000 kilomètres. Sur un globe de 1 mètre de rayon, elle serait de 3 à 6 millimètres, ce qui ne ferait pas l'épaisseur d'une feuille de papier sur nos globes ordinaires. Si une telle enveloppe, remplie d'un liquide cinq à six fois plus pesant que l'eau, n'offrait pas plus de ténacité que les matières qui composent la croûte terrestre, elle aurait peine à supporter la moindre oscillation dans sa forme. N'en est-il pas de même du globe terrestre? la faiblesse relative de l'écorce, d'ailleurs fort crevassée, peut-elle supporter toujours les changements de forme et de volume dont une telle masse incandescente doit être susceptible, surtout quand la température centrale est capable de tout réduire en vapeur au moindre jour qui établit une communication avec une atmosphère de si faible pression relative? Si l'on peut être étonné de quelque chose, c'est que cette disproportion entre l'épaisseur de la croûte et le diamètre de la matière fondue ne donne pas lieu à plus de catastrophes qu'on n'en éprouve aujourd'hui à la surface de notre planète.

2° SURFACE DU GLOBE.

§ 7. **Étendue relative des terres et des mers.** — Sur environ 5 millions de myriamètres carrés, ou 50 milliards d'hectares, que présente la surface du globe, les trois quarts à peu près sont formés par les mers, du sein desquelles s'élèvent çà et là des parties solides plus ou moins étendues, qu'on nomme *terres*. C'est autour du pôle nord que les terres sont particulièrement groupées, fig. 2;

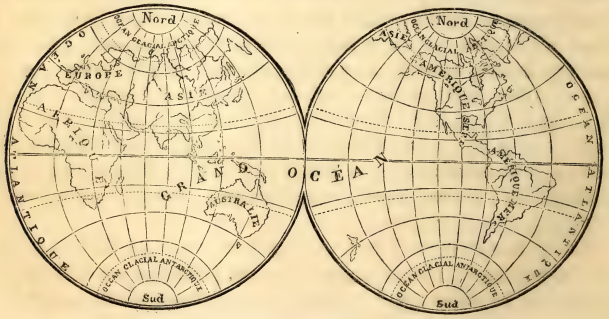


Fig. 2. *Mappemonde sur les méridiens de l'Ile-de-Fer.*

elles constituent deux immenses masses, nommées *continents*, découpées irrégulièrement de différentes manières, et qui se prolongent en pointes au-delà de l'équateur. Au sud on ne connaît jusqu'à ce jour d'autres grandes terres que l'Australie, ou Nouvelle-Hollande. Çà et là, du reste, il existe, au milieu des mers, une multitude d'*îles*, qui sont tantôt isolées les unes des autres, tantôt rassemblées, sur une petite étendue, en nombre plus ou moins considérable, formant des *groupes*, des *archipels*, et quelquefois enfin alignées suivant certaines directions.

Les contours des terres sont extrêmement irréguliers, découpés de toutes les manières, et souvent très profondément. Ils présentent ainsi les saillies qu'on nomme *presqu'îles*, *caps*, *pointes*, et les enfoncements désignés sous les noms de *criques*, *anses*, *baies*, *golfes*, *mers intérieures* ou *méditerranées*.

Il n'est pas inutile de remarquer que la limite du Grand Océan est formée par une série de montagnes qui, de la pointe sud d'Amérique, s'étendent jusqu'à son extrémité nord, en forment toute la côte occidentale, puis se continuent à travers l'Asie jusqu'à l'extrémité de l'Indoustan, et enfin longent toute la côte orientale d'Afrique. Il résulte de cet ensemble un énorme bourrelet montagneux qui sépare la partie éminemment continentale du globe de la partie la plus maritime : c'est ce qu'on voit immédiatement sur une projection réduite de Mercator, quoique ce ne soit pas encore celle qui convienne le mieux pour faire apercevoir ce fait.

§ 8. **Relief des parties solides.** — La hauteur des terres au-dessus des mers est extrêmement variable. Il y a des îles qui sont à fleur d'eau, et qu'on désigne sous les noms d'*écueils*, de *récifs*, de *vigies*, fig. 3, *a*. D'autres, au contraire, s'élèvent à des hauteurs plus ou moins considérables, tantôt formant dans toute leur étendue un plateau, *b*, dont les bords offrent des pentes plus ou moins rapides ; tantôt présentant des plans plus ou moins inclinés qui se réunissent en une arête irrégulière au point *c*, ou bien des cônes, *d*, des surfaces bombées, ondulées, etc., comme en *e*.

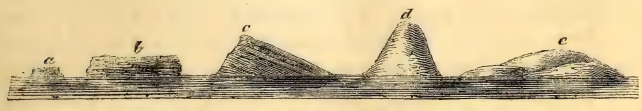


Fig. 3. *Formes et élévations de diverses îles.*

Les grandes îles présentent le plus souvent sur leur étendue toutes ces dispositions à la fois, et les continents sont exactement

dans le même cas, fig. 4; on y observe alors toutes les formes, toutes les hauteurs, depuis le niveau des mers jusqu'à 7 800 mètres, la plus grande élévation qu'on connaisse aujourd'hui. Les parties diversement saillantes comprennent entre elles des parties plus basses, et l'ensemble constitue un relief extrêmement varié dont les accidents présentent les *plaines*, les *vallées*, les *montagnes*, etc.

Fig. 4. *Groupement des montagnes dans les grandes îles.*

§ 9. **Fond des mers.** — Le fond des mers est aussi très irrégulier. Quelquefois il est à peu de distance sous les eaux, et constitue des *bancs*, des *hauts-fonds;* ailleurs on trouve des profondeurs diverses autour d'un point plus saillant qui indique une montagne sous-marine. Souvent on reconnaît à peu près la même profondeur sur une très grande étendue, et par conséquent de vastes plaines, dont on trouve aussi successivement plusieurs en gradins les unes au-dessus des autres. Il y a aussi des parties où la sonde descend à 2000, 4000 et 8000 mètres, et nous indique par conséquent des profondeurs considérables. Près des côtes plates, la mer est peu profonde, et le fond s'abaisse lentement en pente douce jusqu'à une très grande distance; près des côtes escarpées, au contraire, la profondeur est fréquemment considérable, et s'accroît rapidement au large. Ceci nous indique la continuation du relief supérieur avec la partie submergée, et l'ensemble des observations nous fait voir enfin que la partie solide du globe est très irrégulière.

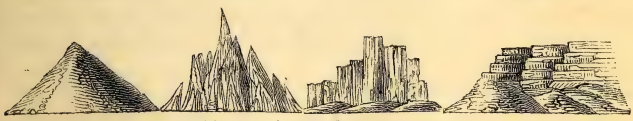
La plus grande profondeur moyenne qu'on puisse attribuer aux mers est de 4800 mètres, d'où il résulte que la masse totale des eaux, qui couvre une si grande partie du globe terrestre, ne va pas à 2 millions de myriamètres cubes : c'est un volume infiniment petit relativement à celui de la terre, § 2, *note*, et qui ne permet guère de concevoir une fluidité aqueuse de notre planète, du moins par les eaux actuelles, qui n'offrent pas la millionième partie de ce qu'il faudrait pour dissoudre une telle masse dans les circonstances les plus favorables qu'on puisse imaginer.

§ 10. **Formes diverses des montagnes.** — On emploie différentes dénominations pour désigner les diverses protubérances du relief que présentent les terres. On nomme *collines* des éminences peu

considérables, mollement arrondies, dont les pentes se confondent doucement avec le sol environnant, pris comme niveau de la contrée. Un *tertre* ou une *butte* est une colline détachée, isolée au milieu de la plaine, ou surmontant tout-à-coup une colline plus surbaissée et plus large. Un *rocher* est souvent un tertre de matières solidement agrégées, pouvant se soutenir sous toutes les formes, et dont les flancs sont plus ou moins irréguliers, quelquefois à pic. Enfin, sous le nom de *montagnes*, on comprend toujours une masse très élevée au-dessus du plan qui sert alors de niveau. On conçoit que toutes ces dénominations n'ont rien de nettement déterminé, et que leur application est souvent fort arbitraire.

Une montagne, quelle qu'elle soit, s'élève presque toujours en pente douce depuis son pied jusqu'à une certaine hauteur, ce qui tient souvent à l'accumulation de ses débris, qui ont formé des talus plus ou moins inclinés. Plus haut les flancs deviennent plus rapides, tantôt unis, tantôt déchiquetés de toutes les manières, souvent abrupts ou taillés en gradins. Vers le sommet se présentent encore, quelquefois successivement, de nouvelles pentes, des escarpements à pic, des cimes enfin de toute espèce. Les variations que présentent ces différentes parties donnent aux montagnes des configurations diverses, le plus souvent en rapport avec la nature des matières qui les composent, et dont quelques unes ont reçu des noms particuliers.

Fig. 5. Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8.



Diverses formes de montagnes

Lorsque le sommet d'une montagne présente une masse conique, fig. 5, plus ou moins rapide, comme on l'observe surtout dans les pays volcaniques, on lui donne le nom de *piton*, de *pic* ou de *puy*, qui s'applique souvent alors à la montagne entière. S'il est arrondi en boule, comme on le voit fréquemment dans les Vosges, il prend le nom de *ballon*. Les sommets terminés en pointes aiguës, en crêtes dentelées, fig. 6, qui appartiennent à certains terrains de gneiss élevés à de grandes hauteurs, comme dans les Alpes, prennent le nom d'*aiguilles*, de *dents*, de *cornes*, suivant les aspects qu'ils présentent. On donne le nom de *tour* ou de *cylindre* aux sommets taillés à pic, fig. 7, qui ressemblent de loin à d'anciennes fortifications; c'est ce qu'on observe fréquemment dans les pays

calcaires, dont les montagnes sont aussi caractérisées par des flancs taillés en gradins, fig. 8, par des escarpements formés d'assises horizontales, et par des terminaisons en plateaux.

§ 11. **Massifs découpés par les vallées.** — Les collines ou les montagnes qu'on aperçoit au loin, à l'extrémité d'une plaine, sont fréquemment les bords d'un plateau plus ou moins élevé au-dessus de celui qu'on occupe soi-même. Or ces plateaux, et particulièrement ceux qui sont très élevés, nous offrent encore une circonstance importante à remarquer. Il est rare qu'ils soient entiers dans toute leur étendue, et le plus souvent le massif qu'ils constituent se trouve découpé par des entailles profondes, fréquemment ramifiées, rayonnant en différents sens, qui le partagent de diverses manières en se prolongeant sur le plateau inférieur, où elles viennent déboucher. C'est cette circonstance qui a fait considérer ces massifs comme des groupes de montagnes, tandis que, dans le fait, ils ne forment souvent, dans toute leur étendue, qu'une seule et même masse, morcelée par des vallées plus ou moins nombreuses. Les plates-formes des différentes pièces du massif, tantôt entièrement séparées, tantôt réunies par des lambeaux irréguliers, se trouvent en général sur un même plan, et les couches qui composent la masse se correspondent sur les pentes des ravins qui les sillonnent. Souvent aussi les massifs sont divisés par des vallées rayonnantes qui se réunissent en un point central où se présente un vaste enfoncement. Sur le bord de ce bassin, on remarque alors des montagnes plus ou moins élevées, qui ne sont que les extrémités des masses partielles dans lesquelles le massif total se trouve partagé.

§ 12. **Chaînes de montagnes.** — Il existe, parmi les protubérances de la surface du globe, des dispositions allongées qui s'étendent à de grandes distances, et qu'on donne le plus souvent encore comme le résultat d'un groupement de montagnes à la file les unes des autres : c'est ce qu'on nomme les *chaînes de montagnes*. On dépeint souvent une chaîne, pour la représenter dans sa plus grande simplicité, comme formée par deux plans inclinés réunis en une arête, tels que sont les deux pentes d'un toit ; mais cette simplicité, tout au plus applicable à quelques rides allongées de la surface terrestre, est tout idéale, et dans la réalité il y a plus de complication. On a comparé plus heureusement une chaîne de montagnes à une arête de poisson ; en effet, on y observe une *masse centrale* dirigée suivant une certaine ligne, et des *branches latérales* ou *chaînons*, à peu près perpendiculaires à la direction générale, qui se correspondent de part et d'autre, et s'avancent à

des distances plus ou moins grandes. Ce n'est qu'aux extrémités d'une chaîne que les branches deviennent divergentes et forment ce qu'on nomme la *patte-d'oie*, caractère qu'il est bon de remarquer, en ce qu'il assigne des limites aux phénomènes qui ont produit ces dispositions de montagnes.

Les branches d'une chaîne sont le plus souvent divisées comme la chaîne elle-même; elles présentent des *rameaux* perpendiculaires à leur direction et divergents à l'extrémité. Ces rameaux se subdivisent encore, et souvent il en est de même de leurs différentes parties, pour ainsi dire à l'infini.

Généralement le centre de la chaîne est la partie la plus élevée, et les branches latérales s'abaissent successivement jusqu'à leur extrémité; on peut en dire autant des rameaux relativement aux branches. Cependant il arrive fréquemment que, dans certaines parties d'une branche ou d'un rameau, quelquefois à l'extrémité, le terrain se relève brusquement, et même à une hauteur plus grande que partout ailleurs.

On remarque aussi que les pentes sont rarement égales sur les deux versants d'une chaîne; c'est ce qu'on observe dans le Jura, dont les pentes sont extrêmement douces du côté de la France, et pour ainsi dire abruptes vers la Suisse; dans les Pyrénées, où les pentes sont généralement plus rapides du côté de l'Espagne que du côté de la France; dans les Alpes, dans les Vosges, et mieux encore dans les Andes, qui s'inclinent si rapidement du côté de l'océan Pacifique, etc.

Le faîte d'une chaîne présente ordinairement une ligne plus ou moins onduleuse dans toute son étendue. Son élévation est aussi extrêmement variée : ici les sommets se portent brusquement jusqu'à plusieurs milliers de mètres; là ils restent à quelques centaines seulement, et ailleurs ils prennent toutes les hauteurs intermédiaires de manière à produire les plus grandes inégalités. C'est en général à l'endroit où se rattachent deux branches latérales opposées que se trouvent les plus grandes hauteurs, et entre deux branches voisines il existe le plus souvent une grande dépression qu'on nomme *col*. Nous reconnaîtrons plus tard à quoi tiennent toutes ces circonstances quand nous aurons acquis des données suffisantes sur la composition et la formation des montagnes.

§ 13. **Croisement des chaînes.** — Les chaînes de montagnes sont nombreuses à la surface du globe, et dirigées dans tous les sens; d'où il arrive qu'en certains lieux elles se coupent mutuellement de toutes les manières, et forment des réseaux plus ou moins compliqués. Les points de croisement, qu'on nomme *nœud*, pré-

sentent souvent des élévations subites beaucoup plus considérables que partout ailleurs.

Quelquefois plusieurs chaînes marchent à peu près parallèlement, et l'espace qu'elles laissent entre elles offre une vaste plaine élevée dont elles forment les limites. Un des plus beaux exemples de cette disposition est fourni par les chaînes de Mouztagh et de Kouenlouun, par le Katchi et l'Himalaya, au centre de l'Asie; les Alpes et le Jura, qui laissent entre eux les plaines de la Suisse, en sont un faible exemple en Europe.

Les chaînes, en se croisant de toutes les manières, forment ce qu'on nomme en géographie des *systèmes de montagnes*, auxquels se rapporte la topographie des diverses contrées; mais ces prétendus systèmes, auxquels l'imagination a fréquemment ajouté, n'offrent souvent que peu d'importance sous les rapports géologiques, si on les considère isolément. Nous verrons qu'il faut y ajouter des considérations particulières qui conduisent à des idées d'un ordre plus élevé, et qui se lient aux grands phénomènes dont le globe terrestre a dû être le théâtre, § 223. Ces faits conduisent à reconnaître que les chaînes du même ordre sont placées à la surface du globe de manière à se trouver sur un grand cercle, ou parallèlement, et à occuper la moitié de sa circonférence. Les chaînes d'un autre ordre sont disposées sur un grand cercle différent, plus ou moins incliné sur le premier, etc. Citons quelques exemples : si l'on veut jeter les yeux sur un globe, on verra que les Alleghanys, les Pyrénées, les Apennins, les montagnes de la Croatie, les Karpathes, le Zagros de la Perse, les Ghates du Malabar, sont autant de chaînes qui offrent la même direction, et sont toutes parallèles à un grand cercle qui passerait par la première. Si l'on considère la partie des Alpes qui se dirige du Valais en Autriche, on verra qu'un grand nombre d'autres chaînes lui sont parallèles, telles que les montagnes de l'Espagne, le Taurus, le Caucase, l'Atlas, le Balkan et les chaînes qui viennent à travers la Perse se lier à l'Himalaya, § 238, fig. 360.

§ 14. **Caractères des vallées.** — On nomme *vallées* les espaces vides qui séparent les différentes parties d'un massif, les diverses branches d'une chaîne, et quelquefois deux chaînes elles-mêmes.

Considérées dans une chaîne, les vallées sont, comme les chaînons, perpendiculaires à la direction générale, et se nomment *vallées transversales*, parce qu'elles coupent les chaînes en travers. A ces vallées viennent aboutir perpendiculairement les *vallons*, qui séparent les rameaux de chaque branche, comme à ces vallons viennent se rendre les *gorges* diverses qui séparent les subdivi-

sions. Les grands espaces situés entre deux chaînes sont fréquemment nommés *vallées longitudinales ;* c'est là que viennent déboucher, à peu près à angle droit, les vallées transversales qui se trouvent de part et d'autre.

Les vallées des grands massifs ou des grandes chaînes sont quelquefois étroites, profondes et à parois escarpées ; c'est ce qui est surtout remarquable dans les hautes régions de l'Asie centrale et de l'Amérique équatoriale, où certaines vallées présentent des fissures verticales effroyables, de 1500 à 2600 mètres de profondeur, fréquemment si étroites qu'il suffit de quelques blocs roulés en travers pour y former des ponts naturels. Ces fissures abruptes forment généralement un caractère des pays à plateaux élevés, où toutes les rivières sont fortement encaissées ; non seulement on les observe en Asie et en Amérique, mais la presqu'île scandinave nous en offre également de beaux exemples, quoique la hauteur des parois soit moins considérable ; la Croatie, la Carniole, nous en présentent également, quoique sur une échelle moins étendue.

Cette configuration n'est cependant pas celle qui se présente le plus ordinairement ; presque toujours il arrive que les pentes, quoique fréquemment escarpées, deviennent du moins abordables en divers points ; leurs fonds et leurs flancs peuvent souvent recevoir des habitations, et des chemins qui servent de passages habituels à travers les montagnes.

Nous avons fait remarquer que les branches latérales d'une chaîne se correspondent de chaque côté du faîte ; il en est de même des vallées, et il arrive généralement qu'après en avoir suivi une sur l'un des versants, on en trouve une autre au sommet pour descendre sur le versant opposé ; cette correspondance a lieu par l'échancrure que nous avons indiquée entre les sommets qu'on observe à la correspondance des chaînons, § 12. Ce sont ces échancrures qu'on nomme *cols* dans certaines localités, *passages* ou *ports* dans d'autres, et quelquefois *brèches*.

On juge presque toujours, en descendant une vallée, qu'elle va en s'élargissant de sa partie supérieure à son extrémité ; mais c'est une pure illusion, qui tient à ce qu'on prend, dans le haut, le pied de l'escarpement pour point de départ, sans faire attention à l'écartement de ses sommités. La véritable forme est précisément inverse, ce qu'on voit clairement en l'observant de ces sommités mêmes. On remarque sans difficultés que les vallées présentent sur leur longueur des évasements et des étranglements successifs ; que leur fond offre souvent des alternatives de pentes douces et de pentes rapides, ou même des parties abruptes, et que

celles-ci se trouvent précisément aux étranglements, tandis que les autres se montrent là où la vallée s'élargit. De là il suit qu'une vallée se compose souvent d'une série d'amphithéâtres ou de bassins placés les uns au-dessus des autres, et qui communiquent entre eux par des passages étroits dont le sol présente une pente rapide ou un escarpement. Souvent il arrive que, dans la partie supérieure, la vallée se termine par un vaste cirque dont toutes les parois sont à pic, et dont le centre est quelquefois occupé par un lac.

Les vallées longitudinales, par lesquelles les grands fleuves s'écoulent, présentent fréquemment les mêmes caractères; elles offrent aussi de grands bassins successifs, qui communiquent entre eux par une échancrure plus ou moins profonde des montagnes qui les entourent, et dans laquelle le fleuve se trouve tout-à-coup resserré. C'est ainsi que le Rhin, après être sorti du lac de Constance, qui forme son premier bassin, traverse les montagnes qui lient le Jura et la Forêt-Noire, où il est bordé et obstrué par les rochers. Arrivé à Bâle, il passe, en changeant de direction, dans le vaste bassin d'Alsace; puis à Bingen, après avoir serpenté dans la plaine, il coupe les montagnes de l'Eiffel, qu'il traverse par une gorge étroite qui ne laisse guère que son passage, et dont il sort à Coblentz. Le Rhône, le Danube, l'Elbe et un grand nombre de fleuves sont exactement dans le même cas; et ce qui étonne surtout dans ces accidents, c'est que le plus souvent la communication d'un bassin à l'autre se fait à travers les parties les plus élevées, comme aussi les plus solides des montagnes qui les entourent. Cette circonstance s'oppose à l'idée, qu'on est toujours porté à concevoir, de digues rompues par le poids des eaux; car s'il en était ainsi, il est clair que la rupture se serait faite au point le plus bas de l'enceinte et dans les parties les moins résistantes.

Les passages bordés d'escarpements à pic, que présentent les vallées en divers points, prennent en général le nom de *défilés*, et souvent aussi de *portes des nations*, parce qu'ils ont souvent séparé des peuplades qui y trouvaient une défense facile, comme à la porte d'une muraille. Il en est qui sont célèbres dans l'histoire; tels sont les défilés du Taurus et du Caucase, connus sous les noms de Porte Ibérienne, Porte Caspienne, Porte Albanienne, Passe d'Issus, célèbre par le passage d'Alexandre; telles sont encore les Thermopyles, où les 300 Spartiates arrêtèrent l'armée de Xerxès; les Fourches Caudines, où les Samnites forcèrent les Romains à passer sous le joug, etc. Les parois de ces passages taillés à pic ont quelquefois des hauteurs considérables; il y en a dans les Andes qui s'élèvent jusqu'à 1600 mètres.

§ 15. **Écoulement des eaux.** — C'est par les vallées que s'écoulent les eaux produites par les brouillards, les pluies, la fonte des neiges. Ces eaux se rassemblent dans les gorges, les vallons, les vallées transversales, et forment les torrents, les ruisseaux, les rivières et les fleuves, pour se rendre à la mer ou dans quelque grand lac. Ces courants présentent dans leur marche des circonstances complétement en rapport avec celles des vallées par lesquelles ils se dirigent; ils sont d'une rapidité effrayante dans les parties où les vallées se rétrécissent, et reprennent un cours lent et tranquille là où elles s'élargissent, en y formant quelquefois des lacs plus ou moins étendus. Les pentes rapides, les escarpements, produisent sur ces courants ce que l'on nomme *rapides*, *sauts*, *chutes*, *cascades* et *cataractes*, dont tous les pays de montagnes nous offrent des exemples.

§ 16. **Plaines situées à diverses hauteurs.** — On nomme plaine tout espace sensiblement uni, n'offrant que des ondulations peu marquées relativement à son étendue. Il en existe à toutes les hauteurs, depuis le niveau des mers jusqu'au milieu des montagnes les plus élevées. On les distingue en *plaines basses* et en *plaines hautes* ou *plateaux*, sans qu'on puisse fixer positivement où finissent les unes et où commencent les autres, tant il y a de hauteurs intermédiaires. C'est en quelque sorte par des plaines successives, et comme de terrasse en terrasse, que s'élèvent principalement les continents au-dessus du niveau de l'Océan ; les grandes chaînes qui les traversent ne sont, pour ainsi dire, que des accidents au milieu des terrains plats élevés, comme on le voit, par exemple, sur le plateau central de la France, dans les montagnes de la Margeride et de la Lozère, qui dominent toute la contrée.

Parmi les plaines basses, on peut citer, sur les confins de l'Europe, les steppes des Kirghiz, où 1800 lieues carrées de pays se trouvent au niveau de l'Océan, ou même au-dessous, car Astrakan et tous les bords de la Caspienne se trouvent plus bas que le niveau de la mer Noire. C'est la plus vaste dépression que nous connaissions; et la mer Morte, ainsi que les plaines environnantes, qui sont également au-dessous de la Méditerranée, sont relativement d'une très faible étendue. Ces plaines se lient par des pentes insensibles à celles de l'Ukraine et de la Lithuanie, jusqu'à celles du Holstein, du Jutland, etc., de manière à offrir en Europe une immense étendue de pays plats. Toutes les parties du monde offrent également des plaines basses très considérables, et l'Amérique renferme peut-être les plus vastes du globe, comme celles où se dessinent les nombreuses ramifications de l'Amazone, de la Plata, etc.

Les plaines hautes les plus élevées au-dessus des mers se trouvent au centre de l'Asie, où elles ne le cèdent en rien aux plaines basses des autres continents. Celles qui forment la haute vallée comprise entre la chaîne du Kouenloun et celle de l'Himalaya, et qui constituent le Tibet proprement dit, se trouvent à 3600 mètres au-dessus du niveau des mers. C'est la plus haute que nous connaissions, car toutes celles qu'on avait confondues sous le nom général de plateau du Tibet sont beaucoup plus basses; l'immense désert de Gobi, entre le Kouenloun et la chaîne volcanique de Thian-Chan, n'a pas plus de 1200 mètres dans ses parties les plus élevées. En Amérique, le plateau de Quito se trouve à 3000 mètres d'élévation, et celui du Mexique à 2000. Ce dernier, qui a 50 lieues de large, se prolonge à 150 lieues vers le nord sans presque subir d'abaissement. Nous n'avons rien de comparable en Europe, ni pour l'étendue ni pour la hauteur; et cependant on peut citer le plateau qui couronne les montagnes de la presqu'île scandinave, les plateaux de la Croatie et de la Carniole, ceux des Ardennes, du Limousin et de l'Auvergne, des Cévennes, etc., qui en sont du moins des exemples en petit.

§ 17. **Distribution de la chaleur à la surface du globe.** — Si la surface terrestre était partout homogène, la distribution de la chaleur y serait déterminée par les latitudes, le mouvement du soleil et les phénomènes qui en sont la suite. Les lignes qui joindraient les points d'égale température, en quelque partie de l'année que ce fût, seraient toutes parallèles entre elles et se confondraient avec les parallèles terrestres; mais il n'en peut être ainsi pour une surface composée de parties hétérogènes, de terres et de mers, qui agissent différemment par leurs pouvoirs émissifs et absorbants. Les configurations de ces parties, leurs positions, leurs étendues relatives, la hauteur des terres au-dessus des eaux, la nature du sol, l'abondance ou l'absence de la végétation, etc., changent nécessairement la distribution théorique, et c'est par l'observation seule qu'on peut reconnaître ce qui en advient.

Forme des lignes thermales. — Les recherches de M. de Humboldt font voir que, dans l'état actuel de la terre, les lignes d'égale température ne conservent le parallélisme entre elles et à l'équateur que dans le voisinage de la zone torride. A partir à peu près du trentième parallèle, ces courbes se relèvent vers les pôles, et plus ou moins suivant le degré de chaleur auquel elles correspondent, ce qui fait qu'elles sont plus ou moins inclinées entre elles. Cela se fait dans l'hémisphère boréal par deux inflexions dont l'une porte les sommets convexes des courbes sur l'Europe occi-

dentale, et l'autre les seconds sommets du même genre sur la côte occidentale d'Amérique ; les sommets concaves se forment d'une part en Asie, et de l'autre sur la côte orientale de l'Amérique. C'est ce qui résulte surtout du tracé des lignes d'égale température moyenne annuelle, qu'on nomme plus spécialement *lignes isothermes*.

Les autres lignes d'égale température moyenne de tel ou tel point de l'année se comportent de même, en oscillant autour des précédentes ; mais les *lignes isochimènes* et *isothères* (d'égal hiver et d'égal été) s'écartent encore plus des parallèles terrestres : les premières, comme les lignes isothermes, d'autant plus qu'on se porte davantage à l'est ; les secondes, exactement en sens contraire. C'est vers les sommets convexes des lignes isothermes que se trouvent les plus petites différences entre les saisons ; vers les sommets concaves, au contraire, il s'en manifeste d'énormes, comme de — 12^{d} à + 19^{d}, — 17 à + 13, etc.

Froid des parties orientales des continents — Ces dispositions des lignes thermales sont l'expression de divers faits très remarquables dans la physique actuelle du globe : elles nous montrent que les parties orientales des deux grands continents sont aujourd'hui plus froides que les parties occidentales, comme on le voit au Labrador et au Canada, d'un côté, et en Sibérie, de l'autre. Sur l'ancien continent la température moyenne annuelle diminue de plus en plus sur un même parallèle à mesure qu'on s'avance de plus en plus vers l'est, comme on le voit dans le tableau suivant :

Lieux.	*Latitudes.*	*Longit. orient.*	*Temp. moy.*
Amsterdam.	52° 22'	2° 30'	11°, 9
Varsovie.	52° 14'	18° 45'	8°, 2
Copenhague.	55° 41'	10° 15'	7°, 6
Moscou.	55° 45'	35° 12'	4°, 6
Kasan.	55° 48'	46° 44'	1°, 3
Christiania.	59° 56'	8° 28'	6°, 0
Upsal.	59° 51'	15° 18'	5°, 6
Pétersbourg.	59° 58'	27° 59'	3°, 8
Tobolsk.	58° 12'	65° 58'	— 0°,65

Il en est de même en Amérique, où le climat est beaucoup plus doux à l'ouest des Alleghanys qu'à l'est. Les deux continents offrent de même, entre leurs côtes, des différences considérables : ainsi le Labrador, le Canada, les États-Unis sont beaucoup plus froids que la Scandinavie et toute la côte européenne, comme on le voit dans les exemples suivants :

Amérique orientale.			Europe occidentale.		
Lieux.	*Latitude.*	*Température moyenne.*	*Lieux.*	*Latitude.*	*Température moyenne.*
Nain.	57° 8'	3°, 1	Stockholm.	59° 20'	5°, 7
Québec.	45° 47'	5°, 6	Nantes.	47° 13'	12°, 6
New-York.	40° 40'	12°, 1	Naples.	40° 50'	17°, 4

Froid de l'intérieur des continents. — L'intérieur des grands continents est généralement plus froid que les côtes, les îles, ou les contrées découpées par les mers et avancées en pointes au milieu d'elles. Ainsi en Bretagne, en Écosse, en Irlande, etc., on cultive en pleine terre les plantes du midi, et les hivers sont plus doux qu'à Milan et dans toute la Lombardie; mais par la même cause les étés sont moins chauds, fréquemment brumeux, pluvieux, et quelquefois même neigeux. Voici un exemple :

Climat continental.					Climat maritime.				
Lieux.	*Latit.*	*Tem. moy.*	*Hiver.*	*Été.*	*Lieux.*	*Latit.*	*Tem. moy.*	*Hiver.*	*Été.*
Bude.	47° 29'	10°, 6	— 0°, 6	21° 4	Nantes.	47° 13'	12°, 6	4°,7	18°,8
Vienne.	48° 12'	10°, 3	+ 0°, 4	20° 7	St.-Malo.	48° 39'	12°, 1	5°,7	18°,9
Kasan.	55° 48'	3°, 1	— 16°, 6	18° 8	Édimbo.	55° 57'	8°, 8	3°,7	14°,6

Climats extrêmes. — Les directions inverses des lignes isochimènes et isothères nous donnent ces climats extrêmes, où à des hivers rigoureux succèdent des étés brûlants; c'est ainsi qu'à New-York, par 40° 40', on trouve les hivers de la Norwége et les étés d'Italie; à Moscou, à Kasan, on trouve les hivers de la Laponie et les étés de la Touraine; à Pékin, par 39° 54', on a les hivers d'Upsal et les étés du Caire. Voici des exemples en chiffres.

Lieux.	*Latitude.*	*Température moyenne.*	*Moy. d'hiver.*	*Moyenne d'été.*
Pékin.	39° 54'	17°, 7	— 3° 1	28°, 1
New-York.	40° 40'	12°, 1	— 1° 2	26°, 2
Québec.	46° 47'	5°, 6	— 9° 9	20°, 0
Zurich.	47° 22'	8°, 8	— 1° 2	17°, 8
Bude.	47° 29'	10°, 6	— 0° 6	21°, 4
Prague.	50° 5'	9°, 7	— 0° 3	20°, 5
Gœttingue.	51° 32'	8°, 3	— 0° 9	18°, 2
Varsovie.	52° 14'	9°, 2	— 1° 8	20°, 6
Moscou.	55° 45'	4°, 6	— 11° 8	19°, 5
Paris.	48° 50'	10°, 6	+ 3° 7	18°, 1

Toutes ces circonstances thermales sont le résultat de l'arrangement actuel des terres et des mers, et il est évident que quelques

changements dans leur étendue, leur forme, leurs dispositions relatives, leur nature, en amèneraient aussi dans toutes les lignes isothermes. La suppression de l'Afrique, l'abaissement du centre de l'Asie, l'allongement de ce continent vers la Nouvelle-Hollande, le remplissage de la mer des Antilles et du golfe du Mexique, etc., changeraient nécessairement les climats de la Sibérie et du Labrador; tout se ferait peut-être en sens inverse, et à la douceur du climat dans l'Europe occidentale se substitueraient peut-être les rigueurs des contrées orientales.

PHÉNOMÈNES QUI MODIFIENT LA SURFACE DU GLOBE.

1° TREMBLEMENT DE TERRE.

§ 18. **Description du phénomène.** — Chacun a entendu parler du terrible fléau qui, en un instant, fait un monceau de ruines des plus florissantes cités, et bouleverse parfois tout le sol environnant. Son apparition est souvent précédée par des bruits sourds, des roulements souterrains, qui fréquemment se font entendre longtemps avant la catastrophe à laquelle ils préludent. Des trépidations plus ou moins violentes se font ensuite sentir pendant quelques secondes, ou quelques minutes seulement, et souvent se succèdent un certain nombre de fois avec plus ou moins de rapidité et plus ou moins de force : dans certains cas même elles se continuent à divers intervalles pendant plusieurs jours, plusieurs mois et même des années entières. Ces mouvements du terrain sont de diverses sortes; tantôt ce sont des oscillations horizontales saccadées, plus ou moins rapprochées, tantôt des secousses verticales, c'est-à-dire des soulèvements rapides et des affaissements successifs du sol; ailleurs, ce sont des tournoiements divers. Souvent toutes les espèces d'ébranlements se réunissent à peu près dans le même temps, et rien alors ne peut échapper à la dévastation.

Quelquefois un tremblement de terre se trouve circonscrit dans un certain espace, et même assez resserré : par exemple, celui qui eut lieu à l'île d'Ischia, le 2 février 1828, ne fut ressenti en aucune manière ni dans les îles voisines ni sur le continent. Fréquemment aussi il ébranle à la fois une surface immense : témoin celui de la Nouvelle-Grenade du 17 juin 1826, qui exerça son action sur plusieurs milliers de myriamètres carrés. Ailleurs il se propage à des distances énormes, comme le fameux tremblement

de Lisbonne en 1755, qui s'étendit jusqu'en Laponie d'une part, et jusqu'à la Martinique de l'autre; en travers de cette direction, il se fit sentir du Groënland en Afrique, où Maroc, Fez, Méquinez furent détruites : l'Europe entière en éprouva les effets au même moment. Généralement on peut reconnaître, dans les narrations diverses, beaucoup d'exemples de propagation du même genre sur des longueurs plus ou moins considérables, et des largeurs diverses. On peut même conclure de l'exposé et de la comparaison des faits que l'ébranlement s'est souvent étendu suivant un grand cercle, plus ou moins incliné sur l'équateur, et occupant peut-être tout un hémisphère.

§ 19. **Effets des tremblements de terre.** — Non seulement les tremblements de terre, lorsqu'ils sont violents, renversent des cités entières avec les édifices les plus solidement établis, mais encore ils font subir au sol même d'importantes modifications. Ceux de la Calabre, en 1783, nous en fournissent des exemples d'autant plus précieux que les faits ont été décrits par les hommes les plus distingués du temps, tels que Vicenzio, médecin du roi de Naples; Grimaldi, Hamilton, etc., et enfin, par une commission de l'Académie royale de Naples. Tout fut bouleversé dans ce malheureux pays; le cours des rivières fut interrompu et changé; des maisons furent soulevées au-dessus du niveau de la contrée, tandis que d'autres, souvent à peu de distance, s'enfoncèrent plus ou moins; des édifices d'une grande solidité furent lézardés du haut en bas; certaines parties en furent élevées au-dessus des autres, et les fondations poussées hors de terre. Le sol s'entr'ouvrit de toutes parts, souvent en longues crevasses, dont quelques unes avaient jusqu'à 150 mètres de large; il y en avait d'isolées, quelquefois bifurquées et montrant fréquemment d'autres fissures perpendiculaires à leur direction, fig. 9; d'autres étaient réunies en rayons divergents autour d'un centre comme une vitre brisée, fig. 10. Les

Fig. 9.

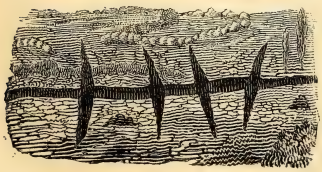
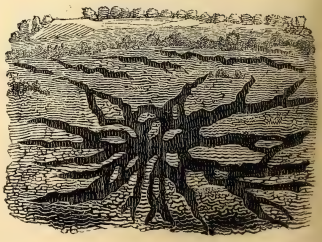


Fig. 10.



Crevasses produites par les tremblements de terre.

unes, ouvertes au moment de la secousse, se refermaient subitement, en broyant entre leurs parois les habitations qu'elles venaient d'engloutir; d'autres restaient invariablement béantes après la commotion, ou bien, commencées par un premier ébranlement, s'élargissaient par les suivants. Dans un cas comme dans l'autre on observa tantôt que les deux bords de la fente se trouvaient sensiblement sur le même plan; ou qu'il s'y manifestait un bombement plus ou moins saillant, fig. 11; tantôt qu'une des parties était beaucoup plus haute, fig. 12 et 13, de manière à montrer nécessairement que l'une d'elles s'était soulevée ou l'autre affaissée.

Fig. 11. Fig. 12. Fig. 13.

Changements de niveau produits par les tremblements de terre.

Ailleurs, il arriva que des étendues plus ou moins considérables de terrain s'enfoncèrent tout-à-coup, entraînant plantations et habitations, et laissant des gouffres à parois verticales de 80 à 100 mètres de profondeur. Dans certains cas, on vit surgir immédiatement du fond de ces cavités une immense quantité d'eau; et il en résulta des lacs plus ou moins considérables, tantôt sans écoulement apparent, et tantôt fournissant d'énormes torrents. Dans d'autres cas, au contraire, des ruisseaux furent absorbés par les crevasses du sol, où ils s'engouffrèrent, soit pour un temps, soit pour toujours.

Mais, outre les fentes nombreuses, les gouffres divers qui interceptèrent les eaux, en fournirent de nouvelles, leur donnèrent un nouveau cours, il arriva aussi que des masses de roches, tombant en travers des vallées, en arrêtèrent les eaux, qui bientôt formèrent des lacs dans la partie supérieure. Or, ces eaux accumulées se frayèrent de nouveaux passages, soit en rompant les flancs de la vallée dans d'autres points, soit en élargissant quelques fissures des montagnes, ou enfin en dégradant l'obstacle qui les avait retenues, et le renversant en tout ou en partie. De là des débâcles épouvantables, des torrents impétueux roulant des quartiers de roc énormes, dont le ravage devint aussi désastreux que les commotions elles-mêmes, et qui, se creusant de nouveaux lits,

élargissant ou approfondissant ceux que les eaux suivaient auparavant, marquèrent leur passage par les débris qu'ils roulaient et déposaient successivement.

Enfin, si la principale action des tremblements de terre eut lieu sur le continent entre Oppido et Soriano, les phénomènes se manifestèrent aussi jusqu'à Messine, à travers le détroit; plus de la moitié de la ville fut détruite, et vingt-neuf bourgs ou villages furent engloutis. Le fond de la mer s'abaissa et fut bouleversé en diverses places; le rivage fut déchiré par des fentes, et tout le sol, le long du port de Messine, s'inclina vers la mer en s'affaissant subitement de plusieurs décimètres; tout le promontoire qui en formait l'entrée fut en un instant englouti.

§ 20. **Soulèvements et affaissements divers.** — Les tremblements de terre qui ont eu lieu sur les côtes du Chili en 1822, 1835 et 1837, ont produit des effets non moins remarquables. Diverses parties de la côte, depuis Valdivia jusqu'à Valparaiso, c'est-à-dire sur une étendue de plus de 200 lieues, se sont manifestement élevées au-dessus des eaux, ainsi que plusieurs îles voisines, et jusqu'à celles de Juan-Fernandez; le fond de la mer, jusqu'à une distance considérable, participa au même phénomène. Sur les côtes, des rochers jadis cachés sous l'eau se sont élevés de 2 à 3 mètres au-dessus de son niveau avec les coquillages qui vivaient à leur surface; des rivières qui débouchaient sur ces côtes sont devenues guéables là où de petits bricks pouvaient autrefois naviguer; en mer, des mouillages bien connus ont diminué de profondeur dans la même proportion, et divers points où l'on passait facilement opposent aujourd'hui des hauts-fonds aux bâtiments qui tirent beaucoup d'eau.

Des circonstances analogues se sont manifestées dans l'Inde en 1819; une colline de 20 lieues de longeur, sur 6 de largeur, s'éleva du sud-est au nord-ouest, au milieu d'un pays jadis plat et uni, en barrant le cours de l'Indus. Plus loin, au contraire, au sud et parallèlement à la même direction, le pays s'affaissa, entraînant le village et le fort de Sindré, qui resta néanmoins debout, à demi submergé. L'embouchure orientale du fleuve devint plus profonde en plusieurs points, et diverses portions de son lit autrefois guéables cessèrent tout-à-coup de l'être.

Les narrations de tous les temps, de tous les lieux, nous présentent des faits exactement du même genre. Partout il est question de crevassements du sol, de gouffres profonds dans lesquels des cités, des contrées entières s'engloutissent, d'où s'élèvent des gaz méphitiques, des masses énormes d'eau, tantôt froides, tantôt chau-

des, quelquefois même des flammes. Ailleurs, ce sont des plaines tout-à-coup transformées en montagnes, des bas-fonds soulevés au milieu des mers, des montagnes crevassées, bouleversées, des terrains montueux, des centaines de lieues de rochers tout-à-coup aplanis et remplacés par des lacs. Des cours d'eau sont détournés, engouffrés dans la terre ; des lacs se dessèchent en renversant leurs digues, ou se perdent dans des conduits souterrains formés tout-à-coup. Par opposition il se manifeste ailleurs d'énormes sources qui produisent de nouveaux ruisseaux sortant subitement du rocher par une crevasse, par un entonnoir, sans qu'on puisse savoir d'où les eaux viennent. Des sources thermales sont à l'instant refroidies ou taries ; d'autres, au contraire, se manifestent là où il n'en existait pas. Tous ces phénomènes sont autant d'indices des fissures qui se forment dans le sol, et qui fournissent de nouveaux conduits aux eaux qui pouvaient y circuler auparavant.

§ 21. Relativement aux côtes de la mer, les phénomènes sont souvent exprimés par les auteurs d'une manière particulière ; rarement on trouve explicitement l'énoncé d'un soulèvement, et c'est en d'autres termes que l'événement est indiqué, en rapportant l'effet à l'élément le plus mobile. C'est ainsi que les auteurs annoncent tantôt que la mer s'est retirée plus ou moins loin, laissant son lit à sec, soit pendant quelques instants, soit d'une manière permanente ; tantôt, au contraire, qu'elle a envahi tout-à-coup des côtes plus ou moins élevées. Nous traduisons ces indications par les expressions *oscillation du sol*, si le phénomène n'est que passager, et par celles de *côtes soulevées* ou de *côtes affaissées*, s'il est permanent, parce que nous rapportons ces effets aux parties solides du globe, et non à la mer, dont le niveau est invariable, § 22. Cependant il faut remarquer que, si ces phénomènes passagers peuvent être attribués quelquefois à des oscillations du sol, ils peuvent provenir aussi d'un mouvement réel imprimé aux eaux de la mer, et tenir peut-être à l'une et l'autre cause. Nous savons, en effet, que pendant les tremblements de terre, la mer est quelquefois violemment agitée, que ses eaux, soulevées à des hauteurs plus ou moins considérables, font parfois d'affreuses irruptions dans les terres, s'avançant et se retirant tour à tour, et portant la dévastation sur un espace plus ou moins considérable. Ces mouvements impétueux d'aller et retour, se joignant aux dislocations subites que les commotions souterraines produisent dans l'écorce solide du globe, peuvent donner lieu aux dégâts les plus épouvantables. L'histoire de l'archipel grec, des îles du Japon, d'une multitude de localités, se trouve remplie des désastres produits par ces catastrophes.

Les effets divers que les tremblements de terre ont produits sous nos yeux, et ceux qui se trouvent dans les relations les plus authentiques, tendent à donner toute probabilité à ce qui nous est transmis des temps les plus reculés, quoique souvent nous puissions être conduits à indiquer les faits en d'autres termes. Qui oserait porter aujourd'hui un démenti formel à Pline rapportant, selon les historiens, que la Sicile fut séparée de l'Italie par un tremblement de terre, que l'île de Chypre fut séparée de même de la Syrie, et celle d'Eubée (Négrepont) de la Béotie, etc.? Nous ne saurions même nier positivement l'existence de l'Atlantide ensevelie sous les eaux, suivant les traditions égyptiennes, en un jour et une nuit. Disons mieux, l'ensemble des observations que nous avons à faire connaître montre évidemment que des affaissements et des soulèvements immenses ont fait longtemps partie du mécanisme de la nature, pour arriver à la configuration que nous voyons aujourd'hui à la surface du globe.

§ 22. **Constance du niveau des mers.** — Nous venons d'admettre des côtes affaissées et des côtes soulevées, et de poser en principe que le niveau des mers est invariable; mais cette dernière assertion étant contraire aux idées répandues dans le monde et à ce qu'on trouve même dans la plupart des traités de géologie, il est nécessaire de l'appuyer de la démonstration dont elle est susceptible. Les lois de l'hydrostatique nous apprennent que ce que nous appelons le niveau des mers n'est autre chose qu'une surface d'équilibre, peut-être très compliquée, qui est déterminée par les forces attractives diverses, §.2, que peuvent exercer les différents points du globe sur la masse liquide. Elles nous font voir qu'un point quelconque de cette surface ne peut conserver une position invariable sans que tous les autres conservent également la leur, et que les eaux ne peuvent ni s'élever ni s'abaisser quelque part d'une manière permanente, sans qu'il y ait des changements correspondants dans toutes les autres parties. Or, d'un côté, nous connaissons un très grand nombre de localités où les mers n'ont pas subi la moindre variation depuis les temps historiques; donc leur surface générale n'a pas changé, et la constance du niveau devient le fait le plus positif que nous puissions avoir, puisqu'il a subi l'épreuve de tous les âges. D'un autre côté, si l'on peut être conduit, comme les habitants du Chili, en voyant la différence qui s'est manifestée sur la côte, à penser que la mer s'est abaissée dans ces parages, de 1822 à 1837, il faudra conclure, aussi avec ceux de la Californie, du Pérou, de la Patagonie, etc., que dans le même temps elle n'a subi en ces lieux aucune variation : deux

conclusions incompatibles entre elles, et avec les lois hydrostatiques. On serait de même conduit à admettre que la mer s'est élevée au fond du golfe d'Arabie en 1819, comme à diverses époques sur les côtes de Portugal, en 1783, dans le détroit de Messine, etc., sans subir de changement dans les parages voisins. De toutes ces circonstances inconciliables, nous concluons qu'au lieu de l'immutabilité du sol, qu'une erreur analogue à l'idée d'immobilité du globe a fait imaginer, il faut admettre celle des mers, en reconnaissant que la surface solide de notre planète est susceptible de soulèvements, d'affaissements et de bouleversements de toute espèce.

§ 23. **Soulèvement lent de la Suède**, etc. — L'idée de la diminution des eaux de la mer, ou, en d'autres termes, de l'abaissement de son niveau, fut celle des plus anciens naturalistes ; mais ce n'était qu'une manière de voir, et en 1731, l'Académie d'Upsal entreprit de vérifier le fait. On fit des entailles sur des rochers au niveau de la mer, et au bout de quelques années il fut démontré qu'elles se trouvaient de plusieurs centimètres au-dessus des eaux, d'où l'on conclut l'abaissement de la Baltique, ce qui entraînait celui des mers voisines. Cependant cette conclusion trouva au moment même des contradicteurs, et l'on multiplia les observations, qui ont été même continuées jusqu'à nos jours. Il en est résulté en effet que dans plusieurs points il y a une dépression apparente et continue du niveau de la mer ; mais il est constaté aussi que cette dépression n'est pas la même partout. Dans quelques points elle a été de plusieurs centimètres dans l'espace de peu d'années, et dans d'autres seulement de quelques millimètres ; dans certaines parties de la côte, les faits se présentent comme si le niveau de la mer s'était abaissé, tandis que dans d'autres, comme sur les côtes de Scanie, le niveau apparaît au contraire comme s'étant élevé, car les marques faites jadis à fleur d'eau se trouvent maintenant au-dessous. La conclusion évidente de ces faits contradictoires, c'est que le niveau de la Baltique n'a pas plus changé que celui de toutes les mers ; mais qu'en Finlande, et dans une grande partie de la Suède, le terrain s'élève graduellement, sans secousse apparente, tandis que dans la partie méridionale de la presqu'île il s'affaisse de la même manière.

§ 24. **Affaissements lents et progressifs**. — Nous avons déjà indiqué l'affaissement lent et progressif des côtes de Scanie, affaissement attesté, d'une manière irrécusable, par des épreuves commencées du temps de Linné, et par divers faits historiques. On en a aussi des exemples sur une échelle plus étendue, et il est hors de doute aujourd'hui que depuis quatre siècles la côte occidentale du

Groënland s'est continuellement abaissée, sur une longueur de plus de 200 lieues du nord au sud ; d'anciennes constructions, tant sur des îles basses que sur le continent, ont été graduellement submergées, et fréquemment on a été dans la nécessité de repousser plus loin dans les terres divers établissements formés près du rivage. On a également indiqué des affaissements dans certaines îles du Grand Océan, et particulièrement dans la mer des Indes et dans les îles de la Sonde ; mais, dans ces lieux si rarement visités par les géologues, les faits ne sont pas encore suffisamment établis. (Voyez *Récifs madréporiques.*)

Il est fort remarquable aussi que les mesures barométriques prises dans les Andes par M. Boussingault indiquent toutes des hauteurs moindres que celles qui ont été observées 30 ans auparavant par M. de Humboldt; les différences se trouvent toutes dans le même sens, ce qui montre assez qu'on ne peut les attribuer à des erreurs d'observation. Il semble en résulter que dans les montagnes de ce continent il s'est opéré un affaissement dans cet espace de temps, ce qui s'accorderait d'ailleurs avec une autre observation importante, celle de l'élévation apparente de la limite inférieure des neiges dans ces contrées.

§ 25. **Conclusion générale.** — Il doit paraître maintenant bien établi que les tremblements de terre sont capables de produire de grandes modifications à la surface de la terre, puisque de nos jours de vastes contrées ont pu être soulevées sensiblement au-dessus du niveau des mers. Il n'est pas moins évident qu'il se fait un travail lent, en vertu duquel diverses parties de nos continents peuvent aussi s'élever successivement, et que, par opposition, il s'opère des affaissements graduels aussi bien que des enfoncements subits, qui sont sans doute des phénomènes corrélatifs.

Toutes ces circonstances, si remarquables, ne paraissent cependant avoir rien de bien étonnant, lorsqu'on réfléchit à l'énorme disproportion qui existe entre l'épaisseur de la croûte solide du globe et la masse de matière fondue qu'elle recouvre. Est-il surprenant qu'une telle écorce, relativement plus mince qu'une feuille d'or battu sur une orange, puisse être tourmentée de toute manière au moindre mouvement de la masse sous-jacente, surtout si l'on observe que, des mouvements semblables ayant eu lieu, sans doute, depuis que la première pellicule est consolidée à la surface, toutes les croûtes successives ont dû être crevassées dans tous les sens, et que par conséquent leur masse ne peut avoir la résistance d'une enveloppe continue? Nous allons en voir encore d'autres effets dans les paragraphes suivants.

2° PHÉNOMÈNES VOLCANIQUES.

§ 26. **Idées générales. Explosion, éruption.** — Les phénomènes volcaniques ont la plus étroite liaison avec les tremblements de terre et en sont en quelque sorte les derniers résultats. Lorsque, dans les trépidations et les soulèvements du sol, la croûte terrestre se trouve crevassée profondément, il s'établit une communication de l'intérieur du globe à l'extérieur, et il se dégage diverses matières du sein de la terre. Les gaz de diverses espèces, les eaux chaudes ou froides, simples ou sulfureuses, chargées quelquefois de boue, offrent les résultats passagers les plus simples. Mais fréquemment aussi, à travers le sol soulevé et crevassé, il se fait, au milieu de détonations violentes, des explosions qui lancent au loin tous les débris du terrain, comme il paraît être arrivé à Saint-Michel des Açores en 1522, où les débris de deux collines couvrirent toute la ville de Villa-Franca. Le plus souvent il se fait en même temps des éruptions plus ou moins considérables de matières incandescentes, scoriacées, ponceuses et à l'état de fusion, qui tantôt sont projetées au loin ou s'écoulent sur les pentes, tantôt s'accumulent sur place à des hauteurs plus ou moins considérables : c'est ce qui s'est passé dans un grand nombre de localités dont nous citerons quelques unes pour exemples.

§ 27. **Éruption de l'île Saint-George.** — Au mois de mai 1808, à Saint-George des Açores, au milieu des champs cultivés, le terrain, après s'être soulevé, s'entr'ouvrit sur plusieurs points avec un bruit effroyable. Il se forma d'abord une vaste cavité, ou *cratère*, de 9 à 10 hectares, puis une plus petite à une lieue de distance, et enfin 12 à 15 petits cratères sur la surface crevassée. Une énorme quantité de scories et de ponces fut projetée au loin, et le terrain en fut couvert jusqu'à un mètre et demi d'épaisseur, sur une étendue de 4 lieues de long et une de large. On vit ensuite des courants de matière fondue qui, pendant plus de trois semaines, ne cessèrent de couler du grand cratère jusqu'à la mer.

§ 28. **Monte-Nuovo.** — Le Monte-Nuovo, formé en 1538 au fond de la baie de Baia, sur la côte de Naples, nous offre un autre exemple d'une semblable éruption. De violents tremblements de terre duraient depuis deux ans : *les 27 et 28 septembre ils ne laissèrent aucun repos ni jour ni nuit ; la plaine qui se trouve entre le lac Averne, le Monte-Barbaro et la mer fut, alors soulevée, et diverses crevasses s'y manifestèrent*, etc. (Pietro Giacomo di Toledo). *On vit alors une grande étendue de terrain s'élever, et prendre subi-*

tement la forme d'une montagne naissante ; dans la nuit du même jour ce monticule de terre s'ouvrit avec grand bruit et vomit des flammes considérables, ainsi que des ponces, des pierres et des cendres (Porzio). Les ponces provenaient du soulèvement du sol, qui est composé de débris de ces matières dans toute la Campanie ; et quant aux pierres et aux cendres, elles provenaient de l'éruption qui se manifesta dans le moment : on voit encore sur la pente sud de la montagne une traînée de scories, et au sommet les restes du cratère qui les a produites. L'éruption dura sept jours, et les matières projetées et rejetées comblèrent en partie le lac Lucrin. Depuis, la tranquillité la plus parfaite a constamment régné.

§ 29. **Jorullo.** — Nous trouvons quelque chose d'analogue, mais avec des circonstances particulières, dans ce qui arriva au Mechoachan, près de la ville d'Ario, le 29 septembre 1759, après deux mois de tremblement de terre. Au milieu d'une plaine couverte de cannes à sucre et d'indigo, traversée par deux ruisseaux, il se forma en une nuit, dit M. de Humboldt, une gibbosité de 160 mètres de hauteur vers le centre, couverte par des milliers de petits cônes fumants, au milieu desquels s'élevèrent six grandes buttes placées sur une même ligne, fig. 14, dans la direction des volcans de Colima et de Popocatepelt. La plus haute de ces buttes, nommée *Jorullo*, était de plus de 500 mètres de hauteur au-dessus de la plaine ; de ses flancs il s'échappa une assez grande quantité de laves.

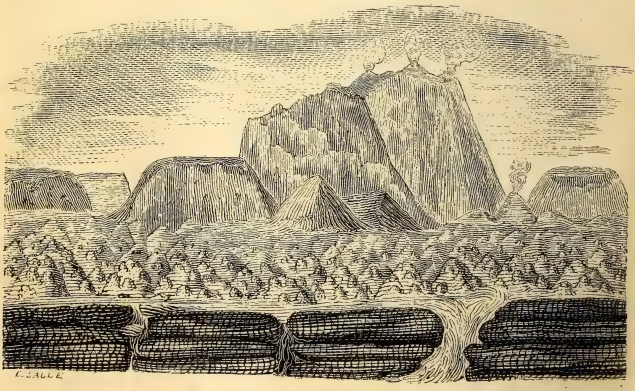


Fig. 14. *Volcan de Jorullo.*

§ 30. **Vésuve.** — Quelque chose de semblable a dû se passer au Vésuve, car Strabon décrit la montagne ainsi nommée par les anciens sans parler en aucune manière du cône si remarquable qui s'y trouve aujourd'hui, fig. 15, et qu'il n'aurait pas manqué d'indiquer. Il est donc évident que ce cône n'existait pas alors; mais les crêtes qui s'élèvent en demi-cercles au nord, en formant ce qu'on nomme aujourd'hui la *Somma*, faisaient probablement partie d'un cirque complet, rempli peut-être de débris, dont la moitié sud, beaucoup plus surbaissée, séparée de l'autre par une fente diamétrale qui passe par l'axe du cône actuel, n'offre plus qu'une trace à l'est et un indice à l'ouest par les tufs ponceux du Salvatore. La montagne, qui se présentait peut-être comme fig. 16, *était*, dit Strabon, *d'une grande fertilité sur ses pentes; elle offrait un*

Fig. 15. *Vue du Vesuve actuel.*

Fig. 16. *Vesuve du temps de Strabon.*

sommet tronqué, en grande partie uni, entièrement stérile, d'un aspect brûlé, montrant des cavités remplies de crevasses et de pierres calcinées: d'où l'on pouvait conjecturer que ces lieux avaient été autrefois des cratères brûlants. Tout porte à croire que le cône qui seul porte aujourd'hui le nom de Vésuve, dont tous les produits sont différents des roches de la Somma, ne s'est formé que beaucoup plus tard, et probablement lors de la fameuse éruption de l'an 79, qui coûta la vie au naturaliste romain; il s'est fait sans doute alors un conduit permanent au milieu des matières qui se sont élevées sous la forme de dôme, et que les scories subséquentes ont enveloppées, § 42. Cette catastrophe paraît avoir produit peu de laves, mais un horrible bouleversement *qui précipita une grande partie de la montagne dans la mer* (Pline-le-Jeune), et ensevelit Herculanum et Pompéi, non sous des torrents de matières fondues, comme on le dit vulgairement, mais sous des avalanches de débris ponceux qui existaient auparavant sur la pente de la montagne, car le Vésuve lui-même n'en a jamais produit un atome. Si toute la pente sud, tournée vers la mer, est maintenant occupée par des laves, il est évident qu'avant la formation du volcan permanent elle était couverte de tufs ponceux dont on voit encore les traces en divers points, comme l'est aujourd'hui jusqu'à une grande hauteur toute la pente extérieure de la Somma et même toute la Campanie, § 28.

§ 31. **Définition d'un volcan.** — Dans ces événements, dont nous ne multiplierons pas les exemples, il arrive souvent que la crevasse qui a donné lieu aux effets observés s'obstrue dans la profondeur, et que la tranquillité se rétablit complétement, comme au *Monte-Nuovo*. Dans d'autres circonstances, au contraire, il se fait un conduit permanent, soit immédiatement, soit après plusieurs secousses, et il s'établit quelquefois un foyer continu d'activité, où la lave bouillonne constamment, d'où se dégagent incessamment des matières gazeuses et même de scories : c'est ce qui a lieu à *Stromboli* depuis la plus haute antiquité, § 44. Ailleurs, le conduit s'obstrue momentanément dans la partie supérieure; mais il suffit du moindre effort pour le débarrasser, ou pour produire une nouvelle ouverture dans le voisinage, par quelque fissure, qui s'anastomose avec le conduit principal, fig. 17. Dans tous les cas, il en résulte un centre de communication facile de l'intérieur de la terre à l'extérieur, et c'est là ce qu'on nomme un *volcan*.

Fig. 17. *Conduits volcaniques.*

§ 32. — Ces communications sont peut-être des préservatifs contre la violence des tremblements de terre, et l'on remarque en effet que, du moment qu'il s'opère une éruption quelque part, les secousses qui jusque là s'étaient manifestées deviennent à la fois moins fortes et moins nombreuses, ou même cessent entièrement. C'est ainsi que le tremblement de terre de Caracas, en 1812, se termina par l'éruption du volcan de Saint-Vincent dans les Antilles; que les éruptions de Jorullo, du Mont-Nuovo, terminèrent les tremblements qui désolaient les contrées environnantes, etc. Par opposition, quand un volcan devient inactif, il semble que les tremblements de terre se déclarent : c'est ainsi qu'en 1797, quand le volcan de Puracé, près de Popayan, eut cessé de jeter des flammes et de la fumée, la vallée de Quito fut agitée de violentes secousses. Les volcans sont donc comme des *évents* naturels préparés par la Providence pour prévenir le bouleversement complet du globe, et sa rupture inévitable en pièces qui, lancées dans l'espace, pourraient y décrire de nouvelles orbites.

§ 33. **Éruptions sous-marines.** — Ce n'est pas seulement au milieu des terres que les phénomènes volcaniques se manifestent; ils ont également lieu sous les mers. De nos jours nous avons vu se former ainsi l'île Julia en 1831, au sud-ouest de la Sicile; Bogoslaw, en 1814, dans l'archipel Aleutien; Sabrina, et une autre qui

ne fut pas dénommée, en 1811, dans les Açores, où, d'ailleurs, il s'en forma à différentes époques, suivant les narrations les plus authentiques. Il s'en éleva de même à plusieurs reprises autour de l'Islande; et les relations diverses en indiquent également dans les îles de la Sonde, dans les Philippines et les Moluques, dans tout le Grand Océan, dans les Kuriles, au Kamtschatka, etc.

Volcan d'Unalaska. — Un des plus beaux exemples nous est fourni par l'île qui s'éleva en 1796, à environ 10 lieues de la pointe septentrionale d'Unalaska, l'une des îles Aleutiennes. On vit d'abord une colonne de fumée s'élever du sein de la mer; puis apparut, à la surface des eaux, un point noir, du sommet duquel des gerbes de feu et de pierres s'élancèrent avec violence. Ce phénomène continua pendant plusieurs mois, durant lesquels l'île s'accrut successivement en largeur et en hauteur; plus tard il ne sortit plus que de la fumée, qui cessa même tout-à-fait quatre ans après. Cependant l'île continua encore à s'agrandir, à s'élever, sans déjection apparente; et en 1806, elle formait un cône qu'on apercevait d'Unalaska, sur lequel il s'en trouva quatre autres plus petits du côté du nord-ouest.

Santorin. — La Méditerranée nous offre aussi un bel exemple d'éruptions sous-marines au centre de l'espace compris entre les îles *Santorin*, *Therasia* et *Aspronisi*, fig. 18, qui, suivant les an-

Fig. 18. *Carte de Santorin et des îles adjacentes.*

ciens, apparurent au-dessus des eaux plusieurs siècles avant Jésus-Christ, à la suite de violents tremblements de terre. Dans cette enceinte s'éleva d'abord *Hiera*, 186 ans avant notre ère, qui s'accrut ensuite par des îlots soulevés sur ces bords en 19,726, 1427; puis se formèrent de même *Micra-Kameni* en 1573, et *Nea-Kameni* en 1707, s'accroissant successivement en 1709, 1711, 1712, etc. Il ne s'est formé de cratère dans aucune de ces îles, et nous y voyons seulement une apparition de matières volcaniques, sous la forme de *dôme*, qui semblent avoir couvert l'orifice par lequel elles sont sorties. Il n'y a donc pas là de volcan suivant la définition que nous avons donnée, mais tendance peut-être à en former un par la suite. Les îles de *Milo*, *Argentiera*, *Polino*, *Policandro*, *Poros*, etc., sont formées des mêmes matières, et ont eu probablement la même origine; c'est d'ailleurs ce que rapportent aussi les anciens historiens.

§ 34. **Ce qui se passe dans ces phénomènes.** — Ces phénomènes sous-marins sont annoncés par des matières incandescentes lancées au-dessus des eaux, par des scories et des ponces qui nagent à la surface, par des rochers brûlants qui apparaissent au milieu des flots de vapeurs, et par le bouillonnement des eaux de la mer, dont la température devient alors très élevée : c'est ce que nous avons vu de nos jours à Julia, à Sabrina, etc., et ce que les auteurs indiquent avec les plus grands détails dans toutes les relations. Le père Gorée nous a donné celle de l'élévation du Nea-Kameni de Santorin, en 1707, et toutes les circonstances qu'il indique sont d'accord avec ce que Strabon, Pline, Plutarque, Justin, nous rapportent de l'apparition de Hiera au milieu des flammes et d'une violente ébullition des eaux de la mer.

Cependant les circonstances que nous venons d'indiquer ne se trouvent pas toujours toutes réunies. Quelquefois aucun rocher solide ne se présente au-dessus des eaux : c'est ce qui arriva au Kamtschatka, en 1737, où des jets de vapeurs, une grande ébullition de l'eau de la mer, des pierres ponces nageant à la surface, furent tout ce qu'on aperçut; mais quand on put approcher, on reconnut une chaîne de montagnes sous-marines, là où il y avait auparavant une profondeur de 200 mètres. Dans d'autres cas il n'y a pas même de jets de vapeurs; le phénomène se manifeste par la chaleur des eaux et par l'élévation subite des dépôts qui existaient au fond des mers : c'est ce qu'on vit en 1820 à l'île de Banda, dans les Moluques, où la baie, qui avait plus de 100 mètres de profondeur, fut remplie par un soulèvement tranquille de matières compactes basaltiques préexistantes, § 212 *i*, qui formèrent un pro-

montoire assez élevé composé de gros blocs entassés les uns sur les autres, sans autre phénomène accessoire que l'échauffement des eaux. Il paraît même qu'après les éruptions il se fait souvent un soulèvement paisible et lent, comme nous l'avons indiqué à l'île formée devant Unalaska, et comme il résulte des observations de M. Virlet à Santorin. En effet, entre Micra-Kameni et le port de Phira, espace où l'on reconnaît une montagne sous-marine assez abrupte, on trouvait, au commencement du siècle, 30 mètres d'eau au-dessus de la partie la plus haute; mais il n'y en avait plus que 8 mètres en 1830, et 4 en 1834. Il est à présumer qu'incessamment une nouvelle île, c'est-à-dire la pointe d'un nouveau cône, apparaîtra dans le golfe, et probablement avec des phénomènes analogues à ceux qu'on a vus précédemment.

Ajoutons que les îles qui s'élèvent à la surface des mers ne se conservent pas toujours indéfiniment. Beaucoup d'entre elles disparaissent après plus ou moins de temps, soit qu'elles se trouvent rasées plus ou moins profondément par les vagues, comme on le suppose pour l'île Julia, soit que leur masse s'enfonce dans des abîmes formés au-dessous d'elles; c'est cette dernière circonstance qui eut lieu sans doute pour une île soulevée en 1719 près de Saint-Michel des Açores, et qu'on vit disparaître en 1723, laissant une profondeur de 133 mètres. Il y a mieux encore: à la place d'une île soulevée dans les mêmes parages, en 1638, on ne trouve plus aujourd'hui qu'une abîme sans fond.

§ 35. **Cratère de soulèvement.** — Le premier effet d'une éruption est de briser avec violence la croûte terrestre sur la direction que les matières intérieures ont prise pour se dégager. Le terrain, quel qu'il soit, est d'abord soulevé sur une étendue plus ou moins considérable, ou bombé sous forme de cloche, souvent fendillé de toutes les manières; bientôt, l'explosion se déclarant, il se fait, comme par l'action d'une mine formidable, une ouverture en forme d'entonnoir, par laquelle se dégagent souvent ensuite les matières gazeuses et autres qui ont causé l'événement. C'est à ces ouvertures initiales, qui peuvent avoir lieu dans toute espèce de terrain, qu'on a donné le nom de *cratères de soulèvement*, par la nécessité de les distinguer, dans la série des phénomènes volcaniques, de tout ce qui peut se faire ultérieurement. La butte elle-même qui se produit à la surface du sol, par ce premier effet, se nomme souvent *cône de soulèvement*, pour la distinguer des buttes analogues qui se forment souvent aussi par l'accumulation des matières incohérentes rejetées hors du volcan.

§ 36. **Caractères de ces ouvertures.** — Ce qui caractérise les

cratères de soulèvement, et conduit à les reconnaître dans les lieux mêmes où il ne reste aucun souvenir d'éruption, c'est la disposition des couches du terrain soulevé, fort différente de ce qu'on observe partout ailleurs. Ces couches se trouvent alors inclinées de toutes parts autour de l'axe du cône, comme dans la coupe, fig. 19, se relevant de plus en plus de la base au sommet, et présentant leurs tranches abruptes vers l'intérieur de la cavité. Le Monte-Nuovo nous en offre un exemple en petit : la montagne s'est formée par soulèvement, § 28, s'est crevée au sommet en projetant au-dehors des gaz et des matières incandescentes ; et la cavité, qu'on peut encore étudier aujourd'hui, présente tout autour, sous l'inclinaison de 30 degrés, les différentes couches de terrain qui, dans tout le reste de la Campanie, se trouvent déposées horizontalement. Le demi-cirque de la Somma, § 30, nous présente les mêmes caractères dans les nappes inclinées de ses porphyres amphigéniques, et beaucoup de localités nous offrent des faits analogues.

Fig. 19. *Dispositions des couches autour d'un cratère de soulèvement.*

Un autre caractère non moins important, et surtout utile quand les matières soulevées ne se divisent pas en couches, nous est fourni, dans les grands cratères de soulèvement, par les crevasses qui s'étendent du bord des escarpements jusqu'à la base extérieure de la montagne, et qui forment ce qu'on nomme des *barancos* dans les îles Canaries, où elles sont si remarquables : c'est ce qu'on voit parfaitement dans l'admirable carte de l'île Palma, dressée par M. de Buch, et dont nous donnons ici la réduction, fig. 20. L'un de ces barancos, beaucoup plus profond que les autres, se prolonge du pied de la montagne jusqu'au fond du cratère, comme on le voit sur la carte, et peut-être mieux encore dans la vue que représente la fig. 21. Ce dernier caractère se voit presque toujours

Fig. 21. *Vue de l'île Palma.*

dans les différentes localités où se sont produits de semblables événements, ainsi que dans la plupart des îles qui se sont élevées de nos jours au milieu des mers ; souvent même il y a plusieurs vallées de la même espèce.

Fig. 20. *Carte de l'île Palma.*

§ 37. **Remarques sur la formation de ces cratères.** — Nous avons indiqué l'explosion comme déterminant la formation de la cavité cratériforme au sommet de la masse soulevée; cependant il n'est pas probable que cette circonstance, qui s'applique aux événements du Monte-Nuovo, de l'île Saint-George, etc., § 27 et 28, se soit constamment présentée dans tous les cas; et même elle paraît

inadmissible pour certains cratères d'une vaste étendue que nous connaissons dans un grand nombre de lieux. Mais cette explosion n'est pas même nécessaire : on conçoit, en effet, qu'après un crevassement comme fig. 10, qui est un résultat corrélatif du soulèvement, il puisse arriver que toutes les quilles restées debout, et toutes les pointes allongées entre les fentes, se trouvent culbutées, soit au moment même, soit par une nouvelle action. Il en résulte dès lors une cavité libre, fig. 22, dont le fond est formé par l'accumulation de tous les débris, et dont la profondeur est en rapport avec la somme des vides formés par les fractures. D'un autre côté, il est clair que le soulèvement est produit par quelque matière, liquide ou gazeuse, qui pousse la croûte terrestre et la force à se tuméfier; or, s'il arrive que ces matières trouvent une issue quelque autre part, ou se retirent ailleurs dans les entrailles de la terre, la masse soulevée, se trouvant sans appui, peut s'affaisser en partie dans les abîmes laissés au-dessous d'elle, et par conséquent occasionner un vide immense au milieu de la gibbosité, qui ne forme plus alors qu'un massif évidé au centre et crevassé sur ses bords : c'est ce qui paraît devoir être arrivé dans un certain nombre de cas, et notamment au massif de l'Etna, fig. 23 et 24, dont la pente orientale présente un vaste enfoncement, nommé *Val del Bove*, bordé de hautes crêtes crevassées en divers points.

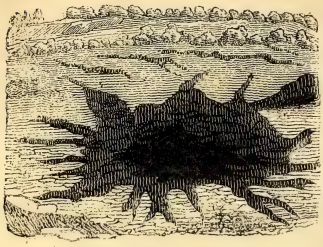


Fig. 22.

§ 38. Qu'on ne croie pas ce commentaire une pure spéculation théorique; nous avons un grand nombre d'exemples d'effondrements comparables, en dehors même des effets produits par les tremblements de terre, § 19. Au sommet de l'Etna il s'en est fait un de 400 mètres de profondeur en 1832, et plusieurs autres ont été produits au commencement de notre siècle ou à la fin du précédent. Fréquemment il s'est fait tout-à-coup des lacs, quelquefois d'eau bouillante, par l'enfoncement du terrain à la suite des éruptions volcaniques, comme en 1835 près de l'ancienne Césarée de Cappadoce, en 1820 à Saint-Michel des Açores, etc. Il est arrivé même que de hautes montagnes volcaniques se sont affaissées subitement, et ont été remplacées par des lacs profonds, comme le volcan de Papandayan à Java, en 1772, qui entraîna quarante villages bâtis sur ses flancs; comme aussi, en 1638, le pic des Mo-

luques, qu'on apercevait de 12 lieues en mer. Le sommet du Carguaraizo, dôme volcanique qui rivalisait de hauteur avec le Chimborazo, s'écroula en 1698 ; et il en fut de même du Capac-Urcu, également situé sur le plateau de Quito, peu de temps avant l'arrivée des Espagnols en Amérique. De tels faits, dont nous pourrions citer encore un assez grand nombre, suffisent certainement pour justifier les idées théoriques que nous avons exposées.

Fig. 23. *Vue et profil de l'Etna et de la contree environnante.*

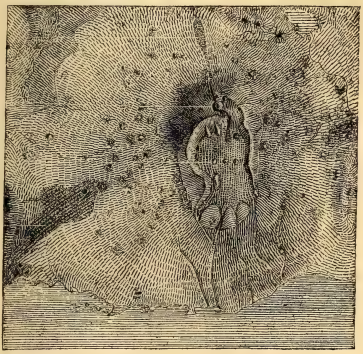


Fig. 24. *Plan de l'Etna et de ses environs.*

§ 39. **Effets postérieurs au soulèvement.** — Les cavités cratériformes dont nous venons de parler sont quelquefois restées telles que le premier événement les a produites; mais souvent aussi divers phénomènes volcaniques s'y sont postérieurement manifestés, en différents temps et de diverses manières. C'est ainsi que le cône du Vésuve, fig. 15, s'est formé en 79, dans l'ancien cratère de soulèvement de la Somma, § 30; que le pic de Ténériffe se trouve dans un cirque dont les parois verticales s'élèvent de 300 à 600 mètres ; que le volcan de Taal, dans l'île Luçon, l'une des Philippines, est placé au centre d'un bassin rempli d'eau, et entouré de rochers élevés qui ne laissent qu'un seul passage pour entrer, etc.

Les îles qui se sont soulevées en différents lieux, au milieu des mers, nous présentent souvent des phénomènes du même genre. Ainsi les îles Santorin, Therasia, Aspronisi, fig. 18, soulevées longtemps avant l'ère chrétienne, se présentent comme les bords d'un vaste cratère de soulèvement; leurs pentes, fig. 25, sont douces

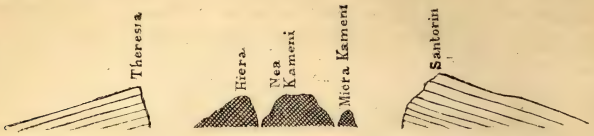


Fig. 25. *Coupe de Santorin et des îles adjacentes.*

à l'extérieur, et abruptes, au contraire, vers le centre du cercle dont elles forment les bords. Le terrain est composé de diverses couches inclinées en dehors, au nombre desquelles se trouvent du calcaire et du schiste argileux (*Minéralogie*, article *Mica*, etc.), qu'on observe particulièrement aux deux Saint-Élie de Santorin, et dont il y a des traces sur Therasia. C'est au milieu de ce cirque, dont la profondeur est considérable sur les bords, que se sont produits tous les phénomènes volcaniques subséquents, qu'ont apparu successivement les sommets des cônes qui constituent les trois îles modernes, § 33, et que se préparent encore des éruptions nouvelles, § 34.

Quelque chose de semblable se présente dans le golfe de Bengale, à l'île Barren, découverte en 1787. C'est un vaste cirque, fig. 26, formé de hautes montagnes, dans lequel la mer pénètre par une seule ouverture, et dont le centre est occupé par un volcan de 600 mètres de hauteur, qu'on trouva en pleine activité au moment de la découverte.

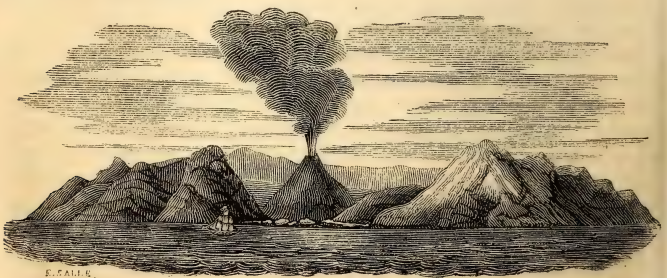


Fig. 26. *Vue de l'île Barren dans le golfe de Bengale.*

§ 40 **Configurations analogues dans les îles volcaniques.** — Les différentes îles volcaniques qui se sont formées sous nos yeux, au milieu des mers, nous présentent des circonstances tout-à-fait analogues à celles que nous venons de décrire. En effet, l'île Sabrina, § 33, au moment de son apparition, présenta un cratère qui s'ouvrait au sud, fig. 27 et 28, et se terminait par une crevasse

Fig. 27.

Fig. 28.

Apparition et forme de certaines îles volcaniques.

d'où sortait un courant d'eau bouillante ; l'île Julia dut offrir quelque chose d'analogue, d'après les narrations, et c'est encore ce que montre un récit du capitaine Thayer, rapporté par Poeppig. Le 6 septembre 1835, au nord de la Nouvelle-Zélande, ce navigateur fut presque témoin d'une éruption sous-marine, qui lui offrit un rocher annulaire, presque à fleur d'eau, au milieu duquel se trouvait une lagune n'ayant qu'une seule issue, et dans laquelle l'eau était brûlante. Or ces îles paraissent n'être autre chose que des pointes de dômes soulevées comme ceux du golfe Santorin, soit instantanément, soit avec lenteur, et dont le sommet s'est crevé, comme au Monte-Nuovo, § 28. Ce sont alors de véritables cratères de soulèvement, ou d'explosion, comme on voudra les appeler ; et comme tels, ils peuvent offrir, tantôt des roches solides, tantôt des tufs divers ou même des scories accumulées sur leurs bords. L'archipel des Açores, qui tant de fois a vu naître du fond des mers de semblables îles que le temps a détruites, nous en présente une qui semble avoir échappé à la destruction pour nous montrer comment se sont formées toutes celles qui ont disparu. C'est le rocher de *Porto de Ilheo*, qui présente un vaste cirque dans

lequel les vaisseaux viennent se mettre à l'abri, et dont les parois, élevées de 130 mètres, sont composées de tuf volcanique.

§ 41. **Iles diverses de même forme.** — Ces phénomènes nous conduisent à reconnaître l'origine d'un assez grand nombre d'îles qui se trouvent dans nos mers, fig. 29, tant par l'analogie de leurs formes avec celles des îles que nous venons de citer, que par leur nature. Les unes sont en forme de fer à cheval, offrant une ouverture plus ou moins large par laquelle on peut pénétrer dans l'intérieur du bassin profond qu'elles renferment, et au centre duquel se trouvent quelquefois des buttes isolées volcaniques. D'autres nous présentent des cirques complétement fermés, plus ou moins écornés sur quelques points de leur pourtour, ou bien des groupes de petites îles réunies circulairement qui sont plus ou moins saillantes au-dessus des eaux. Ce sont autant de circonstances qui rappellent les différents faits que nous venons de citer, aussi bien les îles formées sous nos yeux que celles de Barren et de Santorin.

Fig. 29. *Disposition de certaines îles de la mer du Sud.*

§ 42. **Diverses époques de la formation d'un volcan.** — Il faut souvent distinguer, dans une montagne à volcan, plusieurs parties différentes qui correspondent chacune à un mode particulier de formation. La première gibbosité est, en général, l'effet d'un soulèvement du sol préexistant, dont la nature peut être quelconque. A la suite, il se fait tôt ou tard un crevassement qui produit soit un cratère de soulèvement, soit un dôme de matière pâteuse, § 29, détaché nettement de la première butte, et, en dernier résultat, au milieu de l'un ou de l'autre, une cheminée permanente. Alors commence souvent la formation d'un cône terminal, au moyen des matières scoriacées soulevées par le bain de lave dont le conduit primitif se remplit; ces matières se trouvent poussées sur les bords de l'ouverture, ou lancées dans les airs d'où elles retombent autour du centre d'éruption, s'accumulant alors en cônes sous les pentes maximum de 30 à 35°. Ces scories incohérentes se ressoudent vers l'intérieur de la cheminée, qu'elles rétrécissent alors de plus en plus par des encorbellements successifs, et dont elles masquent ainsi le diamètre véritable.

Il est rare qu'on trouve ces trois sortes de formations réunies dans un même volcan; mais on reconnaît toujours la gibbosité produite par soulèvement, et l'un ou l'autre des dômes secondaires. A Ténériffe, un dôme crevé au sommet s'est élevé au mi-

lieu du cratère de soulèvement. Au Vésuve, d'après l'invariable solidité de la base et diverses autres observations, on peut soupçonner un noyau central, produit à la manière d'un dôme en 79; puis enveloppé de matières incohérentes, et qui porte à son sommet un véritable cône de scories. A l'Etna, fig. 23, on distingue clairement la gibbosité primitive, offrant des nappes de laves anciennes soulevées, au milieu de la surface légèrement bombée que présente toute cette partie de l'île: elle est terminée par une surface presque plane, le *Piano del Lago*, au milieu de laquelle s'élève le cône terminal de scories, circonscrit régulièrement de tous côtés, et séparé nettement de la base sur laquelle il s'est formé. Sur les pentes se présentent de petits cônes d'éruption, qui se sont depuis formés çà et là à diverses époques, et qui ont contribué au bombement de tout le terrain d'alentour.

§ 43. **Variations du cône terminal.** — Il est clair que les cônes de scories, construits comme nous venons de le dire au-dessus des gouffres volcaniques, ne peuvent avoir que peu de solidité : aussi changent-ils souvent de forme à chaque éruption. Tantôt l'édifice s'élève de plus en plus par des injections de laves dans les fentes qui s'y manifestent; tantôt, au contraire, il s'en écroule des lambeaux plus ou moins considérables, et de là des cônes profondément ébréchés de toutes les manières. Quelquefois toute la masse est engloutie à la fois dans les abîmes qu'elle recouvrait, et elle se réédifie par les éruptions subséquentes : c'est ce qui est arrivé au cône terminal de l'Etna, qui a disparu plusieurs fois complétement, laissant un immense soupirail sans parapet au milieu du petit plateau qui termine la gibbosité initiale. Au Vésuve, il n'y a jamais eu, à ce qu'il paraît, que la partie terminale même du cône général qui se soit modifiée.

§ 44. **Intérieur des cratères.** — Contre l'attente générale de tous ceux qui visitent les volcans, l'intérieur d'un cratère n'offre souvent que peu d'intérêt à l'observation. Après les grands phénomènes d'éruption, pendant lesquels on ne peut approcher, ces cavités, de forme conique, dont le diamètre supérieur est plus ou moins considérable, dont le fond paraît souvent formé par une calotte de lave consolidée qui couvre la cheminée principale, ne présentent ordinairement que des jets de vapeurs sulfureuses, qui se dégagent çà et là des fissures du sol, des interstices des blocs de scories éboulés, ou d'un nombre plus ou moins considérable de petits cônes soulevés en diverses places. Quelquefois on observe un ou plusieurs gouffres, tantôt remplis de vapeurs qui se dégagent continuellement, et laissant voir parfois la lave incandescente à la pro-

fondeur ; tantôt silencieux et obscurs, capables d'inspirer la terreur, mais sans rien dire à l'imagination, sans porter le moindre intérêt à l'observation. Dans les longs intervalles des crises, les traces de volcanicité disparaissent souvent tout-à-fait ; dans certains cas même, les parois des cratères se couvrent de végétations, comme on le rapporte du Vésuve avant l'éruption de 1631.

Il y a cependant quelques observations qui méritent d'être rapportées. Le cratère de Stromboli, en activité continuelle depuis les temps les plus anciens, présente encore aujourd'hui des phénomènes identiques avec ceux qui ont été décrits par Spallanzani en 1788. Il est constamment rempli de lave en fusion, qui s'élève et s'abaisse sans interruption dans la cavité. Parvenue à 8 ou 10 mètres des bords, cette lave se gonfle, se couvre de grosses bulles, qui bientôt éclatent avec fracas, en laissant échapper une énorme quantité de gaz, et projetant des matières scoriacées de tous côtés. Elle s'abaisse ensuite immédiatement après l'explosion, puis elle remonte pour reproduire les mêmes effets, qui se répètent ainsi régulièrement à des intervalles de quelques minutes.

Si la lave de Stromboli était moins fluide, on conçoit que, parvenue à sa plus grande hauteur, elle pourrait s'arrêter, prendre la forme bombée, se consolider en dôme plus ou moins élevé ; et qu'alors, s'il se faisait une explosion, il pourrait se former un nouveau cône à cratère au milieu de l'ancien. Cela nous explique ce qui est arrivé fréquemment dans les volcans, et par exemple au Vésuve, fig. 30, où se sont élevés des dômes qui ont subsisté plus ou moins de temps, se sont ensuite crevés, ont donné passage à des laves, et ont fini par s'écrouler dans les abîmes restés au-dessous d'eux. Certains cratères dont le fond présente une assez grande étendue renferment souvent des collines plus ou moins hautes, qui ont eu probablement une origine analogue à celles que nous venons d'indiquer ; soit qu'une lave, arrêtée sous forme de calotte à une certaine hauteur, se soit boursouflée en différents points, soit que des soulèvements aient eu lieu dans les matières diverses qui avaient comblé la cavité.

Quelquefois, au lieu de lave, on trouve au fond des cratères du soufre en ébullition, comme à Vulcano, ou sur une plus grande échelle au volcan de Taal, dans l'île Luçon, § 39, et à celui d'Azufral, au nord de Quito, dans les Andes ; on y cite aussi des collines, et même des dômes de soufre, comme M. Boussingault l'a observé au volcan de Pasto.

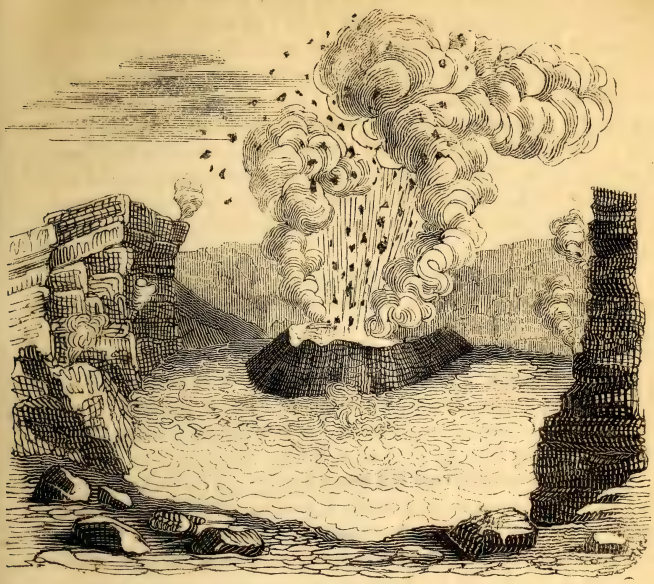


Fig. 30. *Cratère adventif dans le cratère du Vesuve en* 1829.

Un cratère qu'on trouve aujourd'hui fréquemment cité dans les voyages, est celui de la montagne de Kiraueah, dans l'île d'Ovaihi, l'une des Sandwich : cette vaste cavité, à laquelle on donne 5 à 6 lieues de pourtour et 400 mètres de profondeur, offre plusieurs étages, et se trouve couverte d'une multitude de petits cônes d'où s'échappent des vapeurs sulfureuses. Par les crevasses qui se forment sur les pentes intérieures de ce vaste cratère, s'échappent de temps à autre des coulées de lave qui se dirigent vers son centre. Au fond se trouvait, en 1832, une masse de lave en ébullition qui avait un mouvement de translation vers le sud avec une vitesse de plus d'une lieue à l'heure, sans qu'on pût reconnaître par où elle s'écoulait, et qui sans doute allait remplir quelque crevasse, ou quelque bas-fond au milieu des mers.

§ 45. **Solfatares.** — Il existe un grand nombre de cratères qui, depuis longtemps, n'ont donné passage à aucune lave, et sont réduits à des dégagements plus ou moins abondants de gaz sulfureux, qui s'échappe par une multitude de fissures du sol, et souvent

avec de la vapeur d'eau. C'est de là qu'on a tiré le nom de *solfatares*, par lequel on désigne les divers lieux où ces phénomènes sont plus ou moins développés. Il en est qui paraissent avoir toujours été dans cet état : telle est, par exemple, dans le royaume de Naples, la solfatare de Pouzzole, vaste cratère de soulèvement, § 116, au fond duquel se trouvent des roches volcaniques brisées, journellement décomposées par les vapeurs. Cette solfatare remonte à la plus haute antiquité, et ne paraît avoir jamais présenté d'autres effets que ceux qu'on y observe aujourd'hui. Dans les moments de repos, les cratères des volcans deviennent des solfatares plus ou moins énergiques.

Il n'est pas rare de trouver le fond des cratères et des solfatares occupé par un ou plusieurs lacs qui sont fréquemment d'une grande profondeur. Les eaux qu'ils renferment sont quelquefois assez pures, mais souvent aussi elles sont chargées de sels divers ou d'acides sulfureux et sulfurique, comme on le voyait au volcan de Teschem ou Mont-Idienne, dans l'île de Java, avant 1817, époque où cette montagne fut entièrement bouleversée par l'action des gaz, comme nous le verrons plus tard, § 58.

§ 46. **Commencement des éruptions.** — Il ne faut pas confondre les émissions continuelles de gaz ou de matières scoriacées de certains volcans, comme le Stromboli, § 44, avec les éruptions, qui sont des événements subits, heureusement passagers, amenant souvent la désolation dans toute une contrée. Lorsqu'une éruption se prépare, elle s'annonce ordinairement par des tremblements de terre, à la suite desquels elle se déclare tout-à-coup avec plus ou moins de fracas. S'il existe un volcan dans la contrée, il commence par lancer des *fumées* abondantes composées de gaz divers et de vapeurs d'eau, puis des matières pulvérulentes dont la quantité devient quelquefois immense et qu'on nomme *cendres volcaniques;* il s'y joint ensuite, et souvent dès le principe, des fragments de pierres poreuses incandescentes nommées *rapilli*, ou *lapilli*, et *pouzzolanes*, des blocs plus ou moins considérables de matières solides qui sont quelquefois lancées à de grandes distances, enfin des portions de matière fondue arrachées à la lave dont le cratère est rempli, et qui, s'arrondissant par leur mouvement dans l'air, forment ce qu'on nomme les *bombes volcaniques*. Il résulte de tout cela, au milieu de détonations plus ou moins violentes, d'immenses gerbes de matières diverses lancées à de grandes hauteurs, éclairées par la réverbération de la lave en fusion, de manière à figurer des flammes, et dont les parties retombent plus ou moins loin du foyer, suivant leur poids et leur force d'impulsion. Les cendres, les

rapilli ou les ponces produisent alors dans les environs du volcan, quelquefois même au loin, des dépôts considérables qui, consolidés sous leur poids et par les eaux, forment ce qu'on nomme des *tufs volcaniques*, des *tufs ponceux*, des *conglomérats* divers.

Les vapeurs et les cendres lancées des volcans forment quelquefois des nuages énormes, souvent assez épais pour intercepter la lumière du jour et couvrir de ténèbres tous les environs. Ces nuages, poussés par les vents, sont portés parfois à des distances de 20, 50 et 200 lieues; ainsi, en 1812, les cendres du volcan de Saint-Vincent, dans les Antilles, furent portées à l'est jusqu'à la Barbade, et y répandirent une telle obscurité qu'en plein jour on ne voyait pas à se conduire; en 1811, celles de l'éruption de Sumbawa furent portées jusqu'aux îles d'Amboine et de Banda à 290 lieues; en 1794, celles du Vésuve se répandirent jusqu'au fond de la Calabre, et l'on trouve même dans Procope que, pendant l'éruption de 452, elles furent poussées jusqu'à Constantinople.

On ne peut voir ce qui se passe au fond des mers dans les éruptions sous-marines; mais il est clair que les projections de matières terreuses, de rapilli ou de ponce ne peuvent être moins considérables, puisqu'on en voit presque toujours des quantités énormes à la surface des eaux pendant les moments de crise, et que, dans les parties de terrain soulevées, on aperçoit distinctement des dépôts de tufs volcaniques, de tufs ponceux et de conglomérats, tout-à-fait semblables à ceux qui se forment à la surface des terres.

§ 47. **Apparition de matières fondues.** — Les phénomènes que nous venons de citer sont quelquefois les seuls effets de l'éruption; mais souvent ils ne sont que les avant-coureurs, ou les annexes, de l'expulsion des matières en fusion, qui bientôt apparaissent sous différentes formes. Quelquefois ces matières, en masses pâteuses, s'élèvent en *dômes* au-dessus de l'orifice même qui leur donne issue, et constituent des montagnes plus ou moins élevées, tantôt pleines, tantôt perforées verticalement au centre, susceptibles quelquefois d'être poussées de plus en plus au-dehors : c'est ce qui est arrivé à Jorullo, § 29, ce qui s'est passé et se passe encore dans le golfe de Santorin, § 34, et ce qui dut avoir lieu dans un grand nombre de localités que nous connaissons.

Dans d'autres circonstances le cratère antérieurement formé au sommet d'un volcan se remplit complétement de matières fondues; celles-ci en écornent bientôt alors une partie plus ou moins profondément, puis se déversent en torrents qui sillonnent le flanc de la montagne et s'écoulent jusque dans la plaine où elles s'étendent plus ou moins.

Ailleurs, et surtout lorsque le cône se trouve déjà à une grande hauteur, comme à l'Etna, à Ténériffe, dans les volcans des Andes, etc., c'est rarement par le cratère que les matières fondues se dégagent. Il se forme sur le flanc de la montagne, à son pied, ou dans la plaine environnante, quelquefois même à de grandes distances, des crevasses plus ou moins larges qui se trouvent toujours dans un plan vertical passant par l'axe de la cheminée principale, et c'est par là que les matières liquides se font jour à la surface de terrain. Quelquefois la fente donne immédiatement issue à la lave par tous les points de son étendue, mais le plus souvent il se produit, sur sa direction, un ou plusieurs cônes successifs par lesquels la matière en fusion s'échappe. Il arrive même qu'il se fait ainsi des cônes adventifs sur plusieurs crevasses à la fois, soit immédiatement, soit successivement, et que tout le terrain s'en trouve couvert.

§ 48. **Forme des courants suivant les pentes.** — S'il arrive que les crevasses d'éruption se fassent au pied du volcan, dans un pays plat, la lave qui en sort s'étend en larges nappes horizontales au milieu de la plaine : c'est ce qui eut lieu en Islande en 1783 ; des crevasses se formèrent dans la plaine au pied du Skaptar-Jokul, haute montagne volcanique de la contrée, et il s'en échappa un volume immense de matières en fusion. Celles-ci s'étendirent immédiatement sur le terrain, dont elles couvrirent plus de 80 lieues carrées, remplissant tous les bas-fonds et formant un vaste lac de feu dont la profondeur était considérable.

Mais les choses ne se passent pas toujours ainsi ; l'écoulement se fait souvent sur des pentes plus ou moins inclinées, et les laves forment à leur surface de véritables courants, plus ou moins longs, dont une partie reste sur le terrain, par suite du refroidissement, et comme témoin de leur passage. Après sa sortie du sein de la terre, la matière en fusion se refroidit bientôt à l'extérieur, se solidifie, en se ridant, se gerçant de toutes les manières, et acquiert ainsi une croûte, ordinairement poreuse, dont l'épaisseur devient de plus en plus considérable. Cette croûte empêche le liquide, ou la pâte qu'elle enveloppe, de s'étendre en largeur, et permet dès lors au courant de conserver une certaine épaisseur ; de plus, elle préserve, par son peu de faculté conductrice, la partie inférieure de la lave contre le refoidissement, qui par là peut devenir extrêmement lent. On voit, en effet, des laves rester liquides ou pâteuses, et conserver une température très élevée pendant des temps très considérables ; on en cite qui coulaient encore, sur des pentes très faibles, dix ans après leur éjection, et d'autres même qui répan-

daient des vapeurs vingt-six ans après leur émission de sein de la terre.

Si, après le refroidissement extérieur, la source volcanique continue à fournir, l'écoulement se fait dans l'espèce de sac consolidé qui s'est formé ; sac qui se tourmente alors de toutes les manières, se disloque et se rétablit successivement : de là, torsion, cordellement et irrégularités diverses dans le courant de lave. Quand la source vient à tarir, la matière qui en est sortie n'en continue pas moins à s'écouler dans le sac qui la renferme ; mais celui-ci s'aplatit successivement, et le milieu s'affaisse en laissant un bourrelet plus ou moins élevé sur ses bords : c'est ce qui se manifeste d'abord à la partie supérieure de la coulée ; puis successivement jusqu'au point où la matière liquide, devenant de plus en plus visqueuse, n'a plus la force de tirer après elle les parties solides qui se forment, de les briser et de les pousser en avant. La lave s'arrête alors au fond du sac, qui se termine par un culot plus ou moins épais, fig. 31.

Fig. 31. *Culot de lave arrêté sur une pente.*

Il est à remarquer que, quand la pente du terrain sur lequel la lave s'écoule est fort inclinée, la matière, liquide ou pâteuse, forme toujours un courant étroit et de peu d'épaisseur, une lanière seulement sur le flanc de la montagne. Lorsque la source se tarit, il ne reste à la surface du sol, derrière le torrent écoulé, que la pellicule solidifiée de sa surface, qui présente alors une couche mince de matière poreuse, en fragments incohérents, plus ou moins contournés. Les laves pierreuses, susceptibles de prendre la structure porphyrique (*Minéralogie*, article *Feldspath*), dans des circonstances favorables, ne laissent même presque rien sur des pentes qui s'abaissent jusqu'a 7 à 8 degrés, et ce sont toujours des matières poreuses extrêmement disloquées. Il résulte de là que ce n'est pas par l'écoulement des laves à la surface, comme on le dit quelquefois, que les cimes volcaniques peuvent s'être accrues, et avoir pris surtout cette forme élancée que nous voyons fréquemment ; c'est dans des soulèvements, dans des émissions de matières pâteuses restées sur place, dans des injections subséquentes de laves dans les flancs d'un cône antérieur, qu'il faut en chercher l'origine ; les déjections sous forme de lave ou de scories incohérentes, en s'accumulant vers leur base, tendent plutôt à diminuer la saillie qu'à l'augmenter.

Sur des pentes de 3 à 5 degrés, où la vitesse se ralentit beaucoup, le courant s'élargit et se gonfle tout en cheminant; mais l'écorce augmente aussi d'épaisseur et de solidité, et il se fait alors de violentes dislocations dans le sac pierreux qui enveloppe la matière liquide; les morceaux qui en résultent se soulèvent à la surface du courant, se culbutent les uns sur les autres, tiraillés qu'ils sont par la pâte encore en mouvement à laquelle ils adhèrent, et le dépôt qui reste successivement en arrière présente alors une irrégularité extrême.

C'est seulement quand la matière arrive sur des pentes extrêmement faibles, de moins de $\frac{1}{2}$ degré, c'est-à-dire sur un sol presque horizontal, qu'il s'établit un équilibre entre la résistance du sac solide et la tendance au mouvement que possède la partie liquide; la lave s'arrête alors d'elle-même après s'être étendue sur un certain espace, et forme une galette plus ou moins épaisse dont la surface devient sensiblement unie : c'est ce qui arriva sur une grande échelle dans l'éruption d'Islande, en 1783, où la lave s'arrêta en plusieurs points, et forma des plateaux abrupts d'une grande épaisseur.

Toutes ces circonstances varient en général suivant la nature des matières sorties du sein de la terre, leur état de fluidité, et leur facilité à se consolider plus ou moins promptement. Il y a des produits tellement pâteux qu'ils ne peuvent même couler et qu'ils restent sur l'ouverture, comme il arrive à certains trachytes, § 54 et 133, qui forment alors des dômes plus ou moins élevés. D'autres, comme diverses obsidiennes, qui paraissent se refroidir et se consolider promptement, s'arrêtent quelquefois sous la forme de grosses larmes sur des pentes même assez fortes, comme au sommet du Ténériffe. Au contraire, les laves pierreuses qui se refroidissent lentement et restent longtemps fluides ne s'arrêtent que sur un sol horizontal; ce sont elles qui présentent surtout les variations que nous avons indiquées.

§ 49. **Variations d'une même lave, suivant les pentes.** — Il est clair, d'après les détails qui précèdent, que les laves ne peuvent s'accumuler sur une certaine épaisseur, et en nappes uniformes, que sur un terrain sensiblement horizontal; partout ailleurs elles forment ou des lambeaux à surfaces creuses, minces dans leur partie supérieure et plus ou moins épais à l'endroit où ils se terminent en culots, ou bien des dépôts disloqués dont les fragments sont bouleversés de toutes les manières. Pour peu qu'un courant ait une certaine étendue, on peut, dans sa longueur, reconnaître tous ses caractères, suivant l'inclinaison des pentes sur lesquelles il a

coulé. Or la structure intérieure de la lave est aussi en rapport avec sa disposition extérieure. Les traînées qui restent derrière le courant, sur une pente très inclinée, présentent des parties minces, scoriacées, cordelées, toujours très poreuses. Sur des pentes moins fortes, la surface des pièces est plus unie, et les pores deviennent plus petits; sur les pentes de 3 à 5 degrés, les parties disloquées offrent des plaques plus ou moins épaisses, dont la structure poreuse présente une certaine uniformité, et dont le centre devient quelquefois un peu plus compacte, si l'épaisseur est suffisante. Dans les grandes coulées qui ont pu s'accumuler dans la plaine sur une grande épaisseur, ou qui ont rempli des bas-fonds, toute la partie inférieure se prend en masse compacte plus ou moins cristalline, souvent porphyrique, § 212 *n*, parce qu'alors elle se refroidit lentement et tranquillement; dans ce cas, elle se divise souvent, sur toute sa hauteur, en colonnes à pans, généralement normales aux surfaces refroidissantes, et la partie supérieure seule est poreuse sur une épaisseur plus ou moins considérable : c'est là ce que l'on voit au Vésuve, à l'Etna, partout où la lave présente une grande épaisseur, et en Islande, dans l'immense dépôt formé par l'éruption de 1783.

§ 50. **Courants superposés.** — Il est arrivé quelquefois que les courants de diverses époques sont venus se rendre dans les mêmes bas-fonds, et se sont superposés. Dans ce cas, ils sont séparés les uns des autres par la partie poreuse qui termine chacun d'eux, quelquefois aussi par des cendres, des rapilli, des tufs volcaniques lancés du volcan dans l'intervalle des coulées. Les parties poreuses, aussi bien que les couches terreuses intercalées, deviennent très minces lorsque deux coulées se sont succédé à peu de temps l'une de l'autre, comme dans les diverses coulées du Jokul, en Islande; la masse totale se compose alors d'assises horizontales entre lesquelles on aperçoit à peine une séparation.

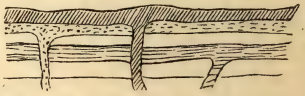
§ 51. **Filons de laves.** — Il arrive fréquemment, comme nous l'avons dit, § 47, que dans les éruptions volcaniques il se forme sur les flancs de la montagne des crevasses plus ou moins larges, par lesquelles la lave se fait jour à la surface du terrain. Ces crevasses se font remarquer longtemps après leur formation, soit parce qu'elles sont restées en partie ouvertes, soit parce que les rapilli qui les ont comblées ont laissé, en se tassant, une espèce de fossé que l'on peut suivre facilement. On les reconnaît ailleurs à de petits effondrements partiels et cratériformes de ces débris, § 37, 110, qui sont tous dirigés sur la même ligne; quelquefois aussi on distingue sur les bords des bourrelets de scories qui sont sorties pen-

dant que la lave bouillonnait dans l'intérieur ; enfin elles présentent aussi des traînées de laves qui lient entre eux les différents cônes d'éruption formés sur leur direction.

On ne peut douter que ces crevasses ne soient souvent restées en partie remplies par les laves auxquelles elles ont livré passage, et n'aient donné lieu par conséquent à des *filons*. La conclusion paraît évidente, dans le cas où les coulées se sont étendues par-dessus la fente, sous la forme de nappes, comme dans l'éruption d'Islande que nous avons tant de fois citée ; mais il est presque impossible de la vérifier par l'observation dans les volcans actuels, dont nous ne voyons que la superficie. Il faudrait en voir la partie inférieure, ce qui ne peut avoir lieu que dans les anciens dépôts volcaniques soulevés et morcelés de différentes manières, comme il en existe çà et là sur les continents, ou dans les cratères de soulèvement. On en voit, en effet, dans les escarpements qui forment l'enceinte de la Somma, § 30, le cirque de Ténériffe, les flancs du val del Bove à l'Etna, § 39, 42, etc., où ils traversent tantôt des dépôts de rapilli et des tufs consolidés nettement caractérisés, tantôt des laves plus ou moins cristallines, et souvent l'une et l'autre de ces matières. Fréquemment une nappe de laves mise au jour se trouve en communication évidente avec un filon qui, après avoir traversé tous les dépôts inférieurs, vient se terminer au milieu d'elle, fig. 32 ; et il n'est pas rare de rencontrer, les unes au-dessus des autres, plusieurs nappes dont chacune correspond à un filon particulier, fig. 33, auquel elle doit sans doute son origine ; le plus récent de ces filons étant celui qui a traversé tous les dépôts successifs pour former le dernier.

Fig. 32.

Fig. 33.



Nappes de laves correspondant à des filons.

§ 52. **Dikes.** — La matière qui constitue les filons est rarement poreuse, si ce n'est quelquefois vers les parois de la roche qui l'encaisse ; elle est même fréquemment à grains plus fins que les nappes dans lesquelles le filon vient aboutir ; la masse en est quelquefois divisée en prismes perpendiculaires aux parois de la fente, qui ont été alors les surfaces refroidissantes. Cette matière résiste en général assez facilement aux influences atmosphériques, et il arrive souvent que, la roche environnante étant dégradée, enlevée

par les agents extérieurs, le filon reste en saillie sur l'escarpement, fig. 34, ou même au milieu des champs, comme une muraille plus ou moins élevée ; c'est cette dernière circonstance qui a fait employer en Angleterre le nom de *dike* (*digue*, *chaussée*), admis dans la science (prononcez *daïque*), qu'on a appliqué plus tard aux filons mêmes.

Fig. 34. *Dike mis à nu par la destruction des roches environnantes.*

§ 53. **Estimation de l'énergie volcanique.** — En voyant d'immenses terrains soulevés, tantôt subitement à la suite des tremblements de terre, tantôt avec lenteur pendant une longue suite d'années, on ne peut douter que l'action qui s'exerce de l'intérieur de la terre au-dehors ne soit très puissante. Or les effets volcaniques nous permettent d'apprécier cette action d'une manière plus positive, non pas par l'énergie des explosions qui se manifestent quelquefois, et que nous ne pouvons mesurer, mais par la hauteur que les laves atteignent en diverses circonstances dans leurs conduits verticaux. Il est certain qu'au Vésuve et à l'Etna les laves sont quelquefois sorties du cratère même, que des courants d'obsidienne se sont fait jour près du sommet du pic Ténériffe, et peut-être même de l'Antisana dans la province de Quito. Or, le cratère de l'Etna est à 3300 mètres au-dessus des mers, le pic Ténériffe, à 3710, le sommet de l'Antisana à 5833 ; il est donc facile de calculer en pressions atmosphériques le poids de la colonne de lave que la force intérieure a dû soutenir pour la déverser à ces hauteurs. Si cette colonne eût été de l'eau, ce liquide se tenant à 10^m, 5 par la pression atmosphérique, il faudrait plus de 300 atmosphères pour le soutenir au sommet de l'Etna, plus de 350 au pic de Ténériffe, plus de 550 à l'Antisana. Mais le poids spécifique des laves, du moins à l'état solide, étant entre 2 et 3, il a fallu pour l'Etna entre 600 et 900 atmosphères, pour l'Antisana entre 1000 et 1500. Qu'on juge des effets qu'une telle force doit produire, par l'énergie des machines à vapeur, dont les plus puissantes ne comportent pas ordinairement plus de 4 à 5 atmosphères, et dont on n'a guère fait au-dessus de 10.

§ 54. **Nature des produits volcaniques solides.** — Toutes les matières solides, que les volcans produisent en grande quantité, se rapportent au groupe des silicates, généralement aux silicates anhydres, et surtout à la division de ceux qu'on a jadis confondus sous le nom de feldspath, qui en forment la masse principale.

Ce sont en général des roches composées de matières plus ou moins mélangées, dont il est souvent difficile de déterminer la base, et qu'on ne peut, en conséquence, classer rigoureusement; on est donc obligé de recourir à des divisions artificielles, dont nous indiquerons les principales. Il faut distinguer :

1° Le *trachyte*, roche souvent âpre au toucher, comme son nom l'indique, composée d'albite ou de ryacolite, tantôt compacte, d'un éclat céroïde ou vitro-résineux, et quelquefois terreuse, tantôt cristalline, dont la masse est finement poreuse, renfermant presque toujours des cristaux des mêmes substances et souvent de la hornblende et du mica noir.

Telle est la nature des roches qui constituent les montagnes formées dans le golfe de Santorin, quelques masses soulevées sur les bords de l'île de Ternate, les sommités de Ténériffe, et un grand nombre de cônes ou de dômes dans différents volcans; rarement le trachyte fait partie des coulées ou des nappes dans les volcans actuellement brûlants.

2° L'*obsidienne*, matière homogène, vitreuse, de diverses couleurs, qui se rapproche de l'une ou de l'autre des matières feldspathiques; susceptible, le plus souvent, de se boursouffler beaucoup lorsqu'on vient à la fondre; passant à une ponce tantôt boursouflée, tantôt à petits pores allongés qui déterminent une sorte de structure fibreuse et un éclat soyeux.

Cette matière a été vomie en abondance dans les îles de Lipari, à Ténériffe, dans les volcans des Andes, partout, en un mot, où les bouches volcaniques se sont ouvertes dans les trachytes. Les éruptions sont accompagnées de ponces qui sont rejetées en fragments nombreux; les coulées s'arrêtent souvent en culots épais sur des pentes très rapides, comme à Ténériffe.

3° Les *laves compactes*, matière à base compacte de couleur foncée, formée le plus souvent de labradorite, renfermant des cristaux de la même matière, ou en général du groupe feldspathique, qui donnent à la masse une structure porphyrique plus ou moins distincte. On y trouve assez souvent des cristaux de pyroxène, mais rarement de l'amphibole, quelquefois du mica noir, et, quoique rarement, du péridot.

Ces matières constituent le centre des courants épais, la partie inférieure des amas qui se sont formés dans les bas-fonds, et qui se divisent assez souvent en colonnes prismatiques.

4° Les *laves poreuses* ou *scoriacées*, qui sont de même nature que les précédentes, mais où l'on distingue plus rarement les cristaux empâtés, et qui offrent la structure poreuse ou cellulaire. Ces matières constituent la partie supérieure des dépôts épais, l'en-

veloppe des courants, et les traînées qui sont restées à la surface du terrain sur lequel les laves ont coulé.

5° Les *pouzzolanes*, les *tufs volcaniques*, amas de petits fragments scoriacés, ou rapilli, accumulés autour des volcans, ou de matières terreuses qui en renferment une quantité plus ou moins grande. Les *tufs ponceux* sont formés de fragments de ponces, et les *conglomérats trachytiques* de fragments de trachyte, liés entre eux par un ciment cristallin ou terreux.

6° Il faut ajouter les scories en larmes, en stalactites irrégulières, éparses à la surface des volcans, et les bombes volcaniques qu'on trouve quelquefois à d'assez grandes distances.

Nous verrons plus tard, § 126, 135, 212, diverses espèces de roches, plus ou moins analogues, qui compléteront la série qu'on observe dans les volcans brûlants.

§ 55. **Étendue des dépôts volcaniques.** — Les volcans ne fournissent sans doute annuellement qu'une bien faible quantité de matière à l'écorce solide du globe, et les soulèvements auxquels ils donnent lieu ne changent que bien faiblement le relief des contrées où leur action se manifeste. Cependant, si l'on fait attention qu'il en existe un grand nombre qui agissent depuis les temps historiques, et que l'observation en indique bien plus encore qui ont agi antérieurement, on est conduit à penser que les matières volcaniques doivent avoir acquis une certaine importance, et que leur apparition et leurs effets ont dû apporter de grandes modifications à la surface de notre planète.

Il existe un grand nombre de volcans actifs dans toutes les parties du globe. L'Islande est un centre d'action continue, dont l'île tout entière est le résultat, et dont l'*Hécla* est la principale bouche ; l'*Etna* et le *Stromboli* sont connus de toute antiquité, et le *Vésuve* date, pour son état actuel, de l'an 79. En Espagne, les volcans ont repris une nouvelle activité dans la province de Murcie, en 1819. Les Açores ont été continuellement tourmentées, et semblent toutes être sorties du sein de la mer, comme les îles que nous avons vues s'y élever à différentes époques. Les Canaries, les îles du Cap-Vert paraissent être dans le même cas, et ont subi de violentes éruptions. Plus loin se présentent les volcans de l'île Bourbon, de la mer des Indes, des îles de la Sonde, des Philippines, des îles du Japon, des Kuriles, du Kamtschatka, de l'archipel Aleutien, dont plusieurs paraissent avoir eu une puissance considérable ; citons encore les volcans des îles Sandwich et de la plupart des groupes de la mer Pacifique, jusqu'à la Nouvelle-Zélande. Le centre de l'Asie, qu'on supposait jadis exempt de volcans actifs, d'où s'éta-

blissait l'hypothèse qu'il ne devait s'en trouver qu'auprès des mers, en est au contraire rempli, et des plus élevés, des plus considérables. Le continent d'Amérique en est couvert depuis la Terre de Feu jusqu'au détroit de Bering.

§ 56. **Volcans éteints.** — Outre les volcans actifs, nous connaissons un nombre immense de volcans éteints, avec leurs cratères d'éruption, leurs coulées de laves aussi caractérisées que celles qui se produisent sous nos yeux; des cratères de soulèvement aussi nets que ceux de Ténériffe et de Palma, tantôt avec des cônes d'éruption dans leur centre, tantôt sans aucune modification postérieure à leur formation. Les produits basaltiques, que donnent rarement nos volcans modernes, se présentent à nous en coulées distinctes ou en nappes plus ou moins morcelées, qui rappellent l'éruption d'Islande en 1783. Nous observons des dépôts trachytiques, non plus comme ceux de Santorin et de Ternate, mais en cônes et en dômes immenses accumulés les uns sur les autres, formant des groupes de hautes montagnes qui occupent de vastes étendues. Tout nous démontre une ancienne activité volcanique prodigieuse qui a modifié d'une manière remarquable le relief de nos continents, et qui nous conduit à une foule de comparaisons, du plus haut intérêt, avec des produits et des effets dont les volcans actuels ne nous offrent aucune trace, § 126 à 134.

En France, l'Auvergne, le Velay, le Vivarais, une grande partie des Cévennes, le Languedoc, la Provence, nous offrent une masse énorme de produits volcaniques. Les bords du Rhin dans les provinces d'Eiffel et de Neuwied, le Siebengebirge, les montagnes de Fulda, la Saxe, la Bohême, la Hongrie, la Transylvanie, le Caucase, la Grèce et ses îles, les îles de Lipari, les monts Euganéens, etc., nous en présentent aussi des développements immenses. Ce que nous connaissons du centre de l'Asie, le peu de faits recueillis en Afrique, ainsi que les nombreuses observations faites en Amérique, nous montrent des produits du même genre; et enfin la plupart des îles de la mer du Sud, où l'on ne trouve pas aujourd'hui de volcans actifs, nous offrent des matières tout-à-fait identiques avec celles des terrains volcaniques les mieux déterminés.

§ 57. **Produits volcaniques gazeux.** — Les phénomènes volcaniques présentent une grande quantité de produits gazeux, les uns permanents, les autres condensables ou solubles. Ces produits se composent en très grande partie de vapeurs d'eau, mais il s'y trouve en même temps des acides chlorhydrique, sulfureux, carbonique, quelquefois du gaz sulfhydrique, et c'est tantôt l'un,

tantôt l'autre qui domine; il s'y joint diverses substances qui se subliment, ou qui sont entraînées en particules par les courants gazeux. Dans la plupart des solfatares et dans les émanations produites par les crevasses d'un volcan, c'est de l'acide sulfureux qui se dégage; mais le gaz sulfhydrique l'accompagne aussi fréquemment, et c'est lui qui donne en brûlant les flammes légères qu'on aperçoit souvent pendant la nuit. Au volcan de Pasto, les *fumarolles* du cratère ne présentent plus que de l'acide carbonique ; à Java c'est le même gaz, d'autant plus dangereux que, inodore et invisible, rien ne révèle immédiatement sa présence, qui se dégage avec une abondance extrême de la solfatare éteinte nommée *Guévo-Upas* ou *Vallée du poison*, objet de terreur pour les habitants. Le sol est partout couvert de carcasses de tigres, de chevreuils, de cerfs, d'oiseaux, et même d'ossements humains; car tout être vivant est asphyxié dans ce lieu de désolation. M. de Buch fait remarquer que dans les émanations gazeuses des volcans, c'est l'acide chlorhydrique qui se manifeste d'abord, au moment de la plus grande intensité de l'action volcanique; que l'acide sulfureux apparaît lorsque cette action commence à diminuer, et que l'acide carbonique vient ensuite, en se continuant pendant des siècles, lors même que toute action paraît entièrement finie : aussi arrive-t-il souvent qu'en creusant au milieu des rapilli les plus anciens, on provoque des dégagements prodigieux de gaz, comme on le voit fréquemment aux environs de Clermont, en Auvergne.

§ 58. — **Action destructive des gaz. Éruption boueuse de Java.** — Les gaz, toujours à une température élevée et mêlés à la vapeur d'eau, agissent puissamment sur les matières solides environnantes, les désagrègent, les décomposent de toutes les manières, les réduisent en poussière, en bouillie, et en forment de nouveaux composés de toute espèce : c'est ce qu'on voit dans toutes les solfatares, où il faut prendre souvent des précautions pour ne pas tomber dans des masses de matières boueuses parfois très échauffées. Mais rien n'est comparable sous ce rapport aux volcans de Java; les vapeurs acides et aqueuses, qui y sont d'une abondance extrême, détruisent toutes les roches, et en forment une pâte qui bientôt ne peut plus résister à l'action explosive de l'intérieur. Il se fait alors d'épouvantables éruptions, non plus de laves, comme dans les volcans ordinaires, mais de masses énormes d'eau bouillante, chargée d'acide sulfurique et de limons épais, qui détruisent, entraînent tout sur leur passage, et couvrent toute une contrée de fange sulfureuse dont la matière est désignée sous le nom de *Buah* : c'est ce qui est arrivé en 1822, lors de l'éruption du Gallung-

Gung, qui, au milieu des tremblements de terre et d'horribles mugissements, fut considérablement abaissé, tronqué au sommet, et entièrement bouleversé. Il sortit de ses flancs crevassés des torrents d'eau chaude, sulfureuse et boueuse, et un nombre considérable d'habitants furent entraînés dans les eaux ou ensevelis sous des dépôts de vase, pendant les journées des 8 et 12 octobre. Il en fut de même du volcan de Teschem ou Mont-Idienne, dans le cratère duquel Leschenaut avait indiqué un lac, constamment alimenté d'acide sulfurique. La montagne fut entièrement bouleversée en 1817, et les eaux acides qui en sortirent désolèrent toute la contrée. Quelque chose d'analogue arriva sans doute en 1772 au volcan de Papandayan, la plus haute montagne du pays, qui fut englouti dans un lac de boue, entraînant 40 villages et leurs habitants dans la catastrophe.

§ 59. **Éruption boueuse de Quito.** Ces éruptions de boue rappellent celles qui ont eu lieu au Pérou, quoique avec des caractères différents. Les volcans de cette contrée, qui, comme ceux de Java, n'ont presque jamais produit de laves, ont quelquefois vomi de leurs flancs des torrents de boue, qu'on nomme *Moya*, tantôt sulfureuse comme le *Buah* de Java, tantôt carbonifère : c'est ce qui arriva en 1698, ou le volcan de Carguaraizo s'écroula en couvrant de boue plus de 29000 hectares de terrain ; et en 1797, où le village de Pellileo, près de Rio-Bamba, fut enseveli sous une masse de boue noire, etc. Ce qui caractérise les éruptions du Pérou et en fait un phénomène plus étrange, c'est qu'il arrive fréquemment que ces eaux bourbeuses, sorties du sein de la terre, sont remplies d'animalcules infusoires et de petits poissons, dont l'espèce vit dans les lacs du voisinage ; la quantité de ces derniers a été quelquefois assez considérable pour causer des maladies épidémiques par leur putréfaction.

§ 60. **Gaz dégagés des laves.** — On conçoit assez facilement que des entrailles de la terre il puisse se dégager, par les fissures qui communiquent à la surface, des gaz et des matières de diverse espèce ; mais, ce qui est plus remarquable, il s'en dégage aussi des laves, lors même que, sorties du volcan, elles n'ont plus rien de commun avec lui. Tant que la lave est fluide, et à une haute température, il ne s'en échappe rien ; mais à peine a-t-elle commencé à se consolider, et par conséquent à se refroidir, que les gaz se dégagent avec plus ou moins d'abondance. Les courants, les matières qui ont rempli les bas-fonds, émettent alors constamment de la vapeur d'eau, de l'acide hydrochlorique, du sel ammoniac qui se dépose à la surface, et des chlorures de fer, sans

compter le réalgar, le fer oligiste, etc., qui se subliment quelquefois dans les fissures. Il faut par conséquent que la lave elle-même renferme toutes ces matières, qui y restent engagées, on ne sait comment, pendant tout le temps que la masse est fluide ou pâteuse, et qui se dégagent à mesure qu'elle se solidifie et se refroidit, et cela de manière à n'en présenter ensuite aucune trace (1). On a supposé que c'étaient toutes ces matières qui donnaient aux laves de nature pierreuse la facilité de conserver leur fluidité pendant bien plus longtemps que les matières analogues que nous pouvons préparer artificiellement.

§ 61. **Salzes ou volcans d'air, volcans boueux.** — Indépendamment des éruptions boueuses accidentelles dont nous venons de parler, il se fait dans beaucoup de localités, à travers des crevasses, souvent loin des volcans ordinaires, des dégagements continus de gaz hydrogène carboné, tantôt seul, tantôt accompagné d'une quantité plus ou moins considérable d'eau et de matières boueuses qu'il pousse en avant : c'est ce qu'on a nommé les *volcans d'air*, les *volcans de boue*, fig. 35, et ce qu'on désigne aussi sous le nom de

Fig. 35. *Salzes de Carthagène.*

(1) Il est bon de rappeler ici, suivant l'observation de M. Guy-Lussac, que l'argent en se fondant, ce qui exige une température très élevée, absorbe une assez grande quantité d'oxygène, et que ce gaz, qui reste enfermé dans la masse tant qu'elle est en fusion, se dégage aussitôt que le refroidissement et la solidification s'opèrent; il se fait alors une tuméfaction de la surface, qui se couvre d'excroissances dendritiques. C'est ce phénomène qu'on nomme *végéter*, *rocher*, en termes d'affinage par la coupellation.

Salzes, parce que le liquide renferme souvent des matières salines et entre autres le sel commun et le sulfate de chaux.

Ces éjections de matières vaseuses produisent, comme les éjections de scories dans les volcans § 42, des cônes, ordinairement peu élevés, qui portent aussi au sommet une cavité cratériforme fréquemment remplie de boue liquide que le gaz soulève, et à travers laquelle il se dégage en grosses bulles dont chacune projette au-dehors une portion de la matière. Il y a parfois, sur une surface peu étendue, une grande quantité de ces cônes en activité, et dont quelques uns atteignent 7 à 8 mètres de hauteur; d'autres, en grand nombre, petits et à l'état naissant, remplacent successivement ceux dans lesquels les phénomènes cessent d'avoir lieu et s'agrandissent de plus en plus par les matières rejetées. Quelquefois cette réunion de cônes se trouve au sommet d'une butte de 50 à 200 mètres de hauteur, formée de matière argileuse qui paraît être évidemment le résultat des anciennes éjections : le milieu en est souvent un lac de boue dont la surface est consolidée çà et là. Dans certaines contrées, on trouve souvent de ces buttes entièrement desséchées, où tout dégagement de gaz, d'eau et de terre a cessé entièrement; mais il arrive quelquefois que les phénomènes s'y renouvellent avec violence; de légers tremblements de terre se font sentir, et tout-à-coup des blocs de terre desséchée sont lancés au loin, des coulées de boue se fraient un nouveau passage : on assure même qu'il y a parfois, pendant quelques minutes, dégagement de fumée et de flammes.

Ces phénomènes se présentent en un assez grand nombre de lieux à la surface de la terre. Il existe beaucoup de salzes ou *Macalubes* dans le Modénais, et il s'en trouve en Sicile, entre Arragona et Girgenti. Pallas en a observé en Crimée, dans la presqu'île de Kertche, à l'île de Taman; M. de Humboldt en a décrit et figuré dans la province de Carthagène, en Amérique méridionale, et l'on en cite à l'île de la Trinité et dans l'Hindoustan.

§ 62. **Fumarolles, Geyser.** — Ces deux sortes de phénomènes sont encore des effets qui se manifestent de l'intérieur de la terre à l'extérieur. On nomme *fumarolles* des éruptions de vapeurs à 200 degrés qui s'échappent des crevasses du sol sous la forme de colonnes blanches, parfois de 10 à 20 mètres de hauteur, et souvent avec bruit comme si elles sortaient d'une chaudière à vapeur, ce qui indique la pression qu'elles supportent alors dans le sein de la terre. On observe les fumarolles non seulement dans les cratères des volcans actifs et dans les solfatares, deux circonstances où elles sont généralement peu considérables; mais au milieu même

de certains terrains calcaires, où elles prennent un grand développement : c'est ce dernier cas qui se manifeste en Toscane, où les jets de vapeur, groupés par 10, 20, 30, à Monte-Carboli, Castel-Nuovo, Monte-Rotondo, se trouvent disposés sur une ligne à peu près droite de 30 à 40 kilomètres, qui semble indiquer une fente.

Ces jets de vapeurs entraînent toujours divers agents qui, à ces hautes températures surtout, attaquent plus ou moins les roches environnantes. Au Vésuve, ils renferment de l'acide hydrochlorique ; à la solfatare de Pouzzole, ils se dégagent avec du gaz sulfureux et de l'acide sulfhydrique ; en Toscane, ils entraînent de l'acide borique, qu'on reconnaît dans les lagunes, ou *lagoni*, résultant de leur condensation, et qui pénètre quelquefois avec du soufre, du gypse, des oxydes de fer, dans les fissures des roches, à travers lesquelles les phénomènes se manifestent.

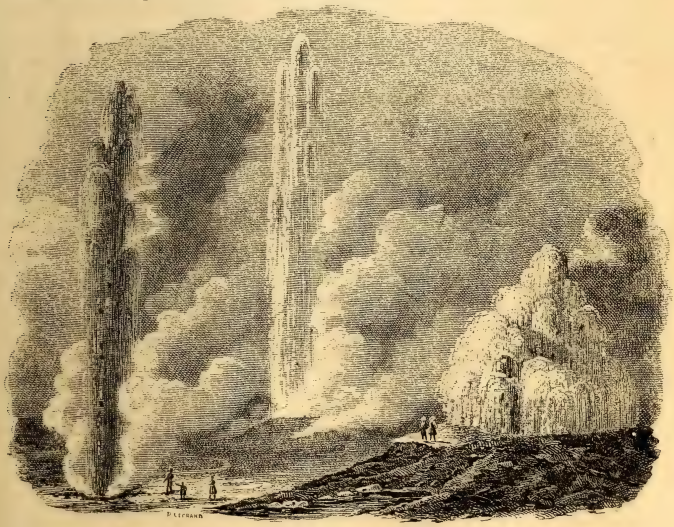


Fig. 36. *Geyser de l'Islande.*

Sous le nom de *Geyser*, fig. 36, qui signifie *jaillissant* suivant les uns et *furieux* suivant les autres, on désigne des sources jaillissantes d'eau bouillante, les unes continues, les autres intermittentes, dont on trouve un grand nombre en Islande. On en indique d'un grand volume, mais il en est une surtout qui, de demi-heure en demi-heure, projette, suivant les auteurs, une colonne d'eau

bouillante de 18 pieds de diamètre, qui parfois s'élève à 150 pieds de hauteur. Les eaux de ces sources renferment de la silice, qui se dépose bientôt au-dehors, à l'état d'hydrate, sur tous les corps environnants, et qui forme quelquefois des monticules très étendus, au sommet desquels se trouve l'ouverture du gouffre par où le liquide s'échappe.

Les sources thermales, et beaucoup de sources minérales froides, sans présenter des circonstances aussi remarquables que celles que nous venons de citer, se rapportent cependant au même ordre de phénomènes, parce qu'elles viennent aussi des profondeurs de la terre pour se rendre à l'extérieur. Ces eaux renferment également en solution différentes matières, qu'elles amènent à la surface du sol, comme de la silice, du carbonate de chaux, des oxydes de fer, etc.

3° INFLUENCE DES AGENTS EXTÉRIEURS A LA SURFACE DU GLOBE.

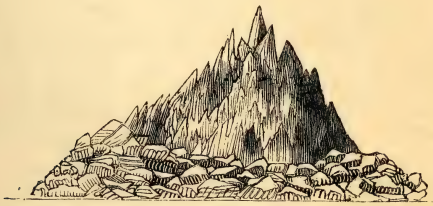
§ 63. **Effets atmosphériques.** — Les variations de la chaleur, l'air, les vents, la sécheresse et l'humidité agissent d'une manière très sensible sur la plupart des substances minérales, et il n'est pas une roche à la surface de la terre qui n'en présente les traces à l'extérieur, où elle offre un état d'agrégation tout différent de ce qu'on voit à l'intérieur lorsqu'on vient à la briser : c'est ce qu'on observe, en tout son jour, dans les escarpements formés pour la confection des routes dans les pays de montagnes, où l'on a été obligé de tailler dans le roc ; la partie extérieure des roches est décolorée, désagrégrée plus ou moins profondément, tandis que l'intérieur, fraîchement mis à nu, conserve toutes ses couleurs et un état tout différent d'agrégation. Or, ce ne sont pas là seulement des effets produits à des époques reculées ; il s'en fait d'analogues sous nos yeux mêmes, et il suffit de quelques années pour qu'ils se manifestent assez distinctement, non seulement à la surface de la masse, mais encore à la profondeur de plusieurs centimètres : c'est ce qu'on reconnaît quelquefois dans les anciennes carrières de marbre, ou même de certains granites, et dans les pierres taillées employées çà et là. L'effet est d'autant plus prompt, d'autant plus sensible, que les matières sont plus susceptibles de s'imbiber d'humidité, et d'en être privées facilement par la sécheresse, alternatives qui produisent une désagrégation très rapide lorsqu'elles se répètent souvent, comme cela a lieu généralement dans les montagnes. Les matières qui se dégradent le plus facilement sont celles qui présentent une structure granulaire, qu'elle

soit terreuse ou cristalline ; celles qui ont une structure feuilletée, ou bien les masses compactes fracturées, fendillées à la surface, comme il s'en présente si souvent dans les montagnes. La gelée, qui vient surprendre l'eau dont une roche est pénétrée, est aussi une cause puissante de destruction, parce que la dilatation qui résulte de la congélation du liquide détermine dans la masse une multitude de fissures dans tous les sens. Tant que le froid continue, les fragments restent unis par la glace qui les cimente ; mais au dégel, tout tombe en écailles, en grains ou en poussière.

On ne peut parcourir les montagnes sans trouver des traces évidentes de ces dégradations. Dans les escarpements calcaires, fig. 38,

Fig. 38.

Fig. 39.



Effets de la dégradation journalière des montagnes.

on voit les parties dont la texture est lâche, se creuser plus ou moins profondément, et les bancs plus solides rester en surplomb. De là des éboulements de ces derniers, qui se détachent successivement en blocs plus ou moins volumineux, soit par leur poids, soit par suite des fissures dont ils sont naturellement remplis. Dans les hautes montagnes, fig. 39, formées le plus ordinairement de couches très inclinées, qui présentent leurs tranches ou leurs plans à la pente, qui offrent souvent de hautes aiguilles, nous observons encore des dégradations plus marquées ; il s'en détache à chaque instant des parties, et surtout dans les moments du jour où les variations atmosphériques sont plus sensibles ; au moment du dégel, il se fait d'énormes *avalanches de pierres*, qui roulent sur les pentes avec une étonnante rapidité, et entraînent tout ce qui se trouve sur leur passage ; souvent aussi il se détache des blocs volumineux, et parfois des portions considérables de montagnes s'éboulent avec fracas. De là des masses énormes de débris qui s'accumulent au pied des pentes, et couvrent quelquefois des étendues immenses.

§ 64. **Dégradations attribuées à ces effets.** — On attribue en général aux influences atmosphériques, longtemps continuées, la dégradation que beaucoup de roches présentent à la surface des continents. Presque toutes les roches, en effet, sont altérées plus ou moins profondément à la surface, où elles présentent un état d'agrégation beaucoup moins solide, beaucoup moins homogène qu'à l'intérieur. Dans presque toutes les carrières, on est obligé de déblayer d'abord une assez grande masse de matières avant de pouvoir exploiter des blocs homogènes, solides, exempts de fissures, et conservant les couleurs vives qu'on recherche toujours soit pour l'ornement, soit pour l'architecture monumentale : c'est ce qu'on voit surtout dans les exploitations de marbre, et en général dans celles de calcaires compactes. Certains granites, § 212 *a*. (*Minéralogie*, articles *Quarz*, *Feldspath*, *Mica*) sont désagrégés si profondément, que toute la surface du terrain ne présente qu'un amas de graviers en collines arrondies que les eaux de pluie ravinent de toutes les manières. Fréquemment on rencontre ces granites à la surface du terrain, en espèce de gros blocs arrondis, empilés les uns sur les autres, fig. 40, B, de la manière la plus bizarre, quelquefois en équilibre assez peu stable et susceptibles d'osciller sous le

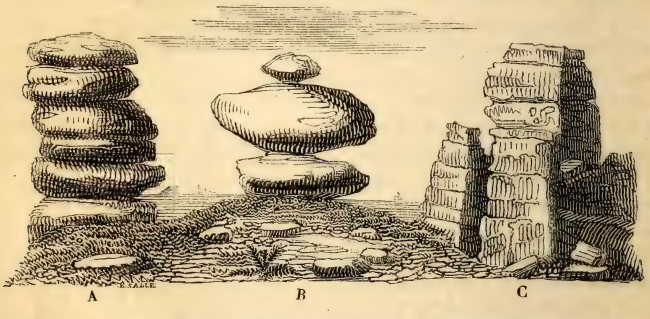


Fig. 40. *Dégradations du granite en différents lieux.*

plus léger effort : c'est ce que présentent surtout certains granites porphyroïdes, à grands cristaux souvent rosés de feldspath laminaire, qu'on rencontre dans un grand nombre de localités, et qui constituent sur le plateau central de la France des chaînes particulières, qu'on peut suivre du Limousin au Gévaudan.

Dans les montagnes où le granite se décompose avec facilité, on remarque souvent que la masse, plus ou moins découpée, présente des espèces d'assises horizontales, qui sont partagées par

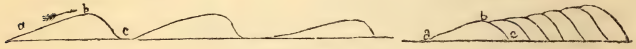
des fissures verticales plus ou moins distinctes, de manière à offrir une sorte d'agglomération de parallélipipèdes irréguliers, fig. 40, C. On suppose alors que, par suite des influences atmosphériques, ces blocs angulaires se sont de plus en plus altérés sur les arêtes et sur les angles, que les parties ainsi désagrégées se sont successivement détachées, et qu'enfin il en est résulté des masses arrondies, tantôt empilées les unes sur les autres comme des fromages, tantôt isolées, comme nous les voyons aujourd'hui à la surface du sol. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'on observe souvent les passages des masses les plus angulaires aux blocs les plus arrondis, et de celles où la position d'équilibre se fait en quelque sorte sur un point, à d'autres dont la jonction présente des surfaces horizontales assez larges comme fig. 40, A et C.

Il est bon cependant d'observer que les modifications purement atmosphériques, et capables de produire une désagrégation complète, comme celle que l'on suppose ici, ne se font sous nos yeux qu'avec une extrême lenteur, en sorte que, pour arrondir ces blocs de granite, il faut nécessairement admettre un laps de temps immense : aussi a-t-on pense à chercher une autre explication, et l'on a supposé des émanations gazeuses plus ou moins analogues à celles que nous avons vues dans les solfatares, § 45 et 58, qui détruisent si rapidement les produits volcaniques les plus solides. Cette idée peut être appuyée sur l'altération profonde qu'ont alors subie les roches, altération fort différente de la simple désagrégation lente qui se produit journellement sous nos yeux. En effet, les matières terreuses qui résultent de la décomposition ancienne des granites sont solubles dans les acides, qui n'attaquent ni les roches intactes, ni même les produits de leur altération actuelle à l'air. L'effet de ces vapeurs aurait été de produire sur place les matières terreuses et graveleuses qui recouvrent si souvent les pays granitiques, et au milieu desquelles se trouvent des parties plus ou moins volumineuses, fréquemment aussi de forme arrondie, que la décomposition n'a pas pénétrées. On concevrait alors que des courants d'eau aient entraîné les matières altérées, en laissant sur place les parties qui ne l'étaient pas, et qui se présentent aujourd'hui comme des blocs empilés à la surface du terrain.

§ 65. **Action des vents. Dunes.** — Les vents, que nous avons vus servir au transport des cendres volcaniques, § 46, et qui forment un puissant auxiliaire à l'action des vagues dont nous parlerons bientôt, n'ont cependant par eux-mêmes qu'une bien faible action sur les masses minérales solides ; ce n'est guère que sur les dépôts de sables fins et meubles que leurs effets se font sentir, et

donnent lieu à quelques observations importantes. On sait que dans les déserts de l'Afrique et de l'Arabie les vents soulèvent des nuages immenses de sables brûlants, les transportent d'une extrémité à l'autre, et déterminent subitement de vastes collines, quelquefois assez élevées, qu'un nouveau coup de vent vient détruire à leur tour. Toutes les côtes sableuses de nos mers sont exposées à des effets analogues ; le moindre coup de vent y met le sable en mouvement, et détermine à la surface, auparavant unie, une multitude de rides parallèles les unes aux autres, séparées par un intervalle plus ou moins large, et offrant chacune une pente douce du côté du vent et une pente plus rapide du côté opposé, comme fig. 41 ; à la bouffée de vent suivante, toutes ces rides entrent en

Fig. 41. Fig. 42.



Marche des dunes.

mouvement, et bientôt chacune d'elles se trouve occuper la distance qui la séparait de la ride précédente. C'est en petit le phénomène des *dunes* qui se forment sur les plages basses de nos continents, qui envahissent successivement des terrains immenses dans les plaines adjacentes, et qui ont ainsi couvert tout le département des Landes. Ces collines, placées les unes derrière les autres et dont la direction est perpendiculaire à celle des vents dominants, sont sans cesse en mouvement et s'avancent constamment vers l'intérieur des terres ; les vents de mer poussent le sable du pied *a* d'une butte à son sommet *b*, fig. 41, d'où il tombe, suivant *b c*, en formant dans cette partie un talus d'éboulement toujours plus escarpé que le talus antérieur. Il en résulte qu'une butte, *a b c*, prise isolément, fig. 42, s'accroît successivement en arrière si de nouveaux sables lui sont fournis en avant, ou se déplace si ce sont les mêmes sables qui se trouvent continuellement remaniés. Or le vent agissant sur toutes les buttes à la fois, leur ensemble se trouve en peu de temps avancé d'une certaine quantité vers les terres, tandis qu'en avant il s'est formé de nouveaux monticules aux dépens des sables fraîchement apportés par la mer. On a calculé que les dunes avancent ainsi de 20 à 25 mètres par année, de sorte qu'il est évident qu'il y a eu un moment où elles étaient fort éloignées des lieux qu'elles ont depuis envahis, et qu'avançant successivement elles se porteront par suite fort loin dans les terres. On connaît un assez grand nombre de localités qui ont été ainsi submergées par ces mers de sable, et l'on peut calculer d'avance le

moment où il faudra abandonner telle ou telle partie du territoire, si l'on ne parvient, par des plantations convenables, à arrêter la mobilité de ces dépôts.

§ 66. **Action de la foudre.** — Pour terminer l'énoncé des effets qui sont dus aux actions atmosphériques, nous ajouterons que la foudre elle-même peut en produire d'assez remarquables. D'un côté, depuis Saussure, on a observé, dans un assez grand nombre de lieux, et sur diverses roches, des traces de fusion produite par la chute de la foudre dans les hautes montagnes. D'un autre côté, les observations de Friedler nous ont appris qu'en pénétrant dans les sables la foudre y creuse des canaux étroits, irréguliers, souvent très profonds, dont les parois sont consolidées par la fusion du quarz même; enfin, il y a des cas où des portions considérables de rochers sont retournées par la foudre, arrachées de leur place, lancées à de grandes distances, quelquefois en roulant à contre-pente, ou brisées de différentes manières.

§ 67. **Effets des eaux. Action dissolvante.** — Les eaux jouent un rôle très important dans les changements qui se font à la surface du globe; quelquefois par leur action dissolvante, mais le plus souvent par leur action délayante, par leur poids, et surtout par les mouvements dont elles peuvent être animées, par la force de transport qui résulte de leur vitesse. De là des modifications diverses, dont il faut apprécier l'importance et l'étendue.

Les eaux exercent une action chimique sur quelques substances qu'elles peuvent dissoudre, soit immédiatement, soit au moyen de l'acide carbonique qu'elles renferment quelquefois. Immédiatement, elles agissent sur quelques sels peu abondants, qu'elles enlèvent de côté et d'autre; ou sur quelques dépôts de sulfate de chaux qu'elles corrodent de diverses manières. Chargées plus ou moins d'acide carbonique, elles exercent leur action sur les roches calcaires, soit dans le sein de la terre, d'où elles reviennent former des tufs à la surface; soit dans les hautes montagnes, surtout au moment de la fonte des neiges. Dans ce cas, l'eau, qui s'empare généralement de l'acide carbonique renfermé dans l'air, en contient beaucoup plus qu'en tout autre temps, par suite de la basse température à laquelle elle se trouve; et, coulant le long des masses calcaires, elle y forme des sillons verticaux, qui s'approfondissent de plus en plus et provoquent quelquefois des éboulements plus ou moins considérables. Ces effets lents des eaux se font remarquer surtout dans les Alpes et les Pyrénées, là où les neiges séjournent pendant une partie de l'année et se fondent petit à petit dans la belle saison.

§ 68. **Effets de l'action délayante.** — L'eau, en pénétrant dans les couches argileuses, les ramollit quelquefois au point que ces masses ne peuvent plus se soutenir sous les pentes qu'elles avaient eues jusqu'alors, et qu'elles s'écroulent sous leur propre poids : c'est ce qui a causé un grand nombre d'éboulements dans les terrains de sédiment. Une des catastrophes les plus remarquables qu'on puisse citer en ce genre est celle qui arriva, en 1806, au *Ruffiberg* ou *Rossberg*, en Suisse, après une saison très pluvieuse. Les matières argileuses, qui servent de ciment aux cailloux roulés dont la montagne est formée, se trouvant délayées, il se détacha tout-à-coup une masse de plus de 50 millions de mètres cubes qui se précipita dans la vallée, y forma des collines de 60 mètres de hauteur, et ensevelit plusieurs villages sous des amas de fange et de cailloux. C'est dans des circonstances analogues que fut détruite la ville de Pleurs, dans la Valteline, en l'an 1618, et une partie de la ville de Salzbourg en 1669. Souvent on a vu, sur une petite échelle, des couches puissantes de roches glisser lentement dans le fond des vallées sur les couches de matières argileuses délayées qui les supportaient, et déplacer tranquillement les plantations, les habitations mêmes qui les couvraient, sans que les propriétaires s'en aperçussent au premier moment.

Les eaux qui filtrent à travers les roches jusqu'aux couches argileuses qui peuvent les arrêter, et sur le plan desquelles elles se dirigent au jour, délaient quelquefois aussi ces matières, en entraînent successivement des parties, et surtout les sables qui peuvent les recouvrir. Il en résulte, vers les points où elles sortent de terre sur le penchant des coteaux, des vides plus ou moins étendus qui laissent hors d'appui les masses solides superposées, et celles-ci, se disloquant alors de diverses manières, fig. 43, sont bientôt

Fig. 43.

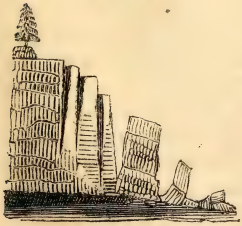
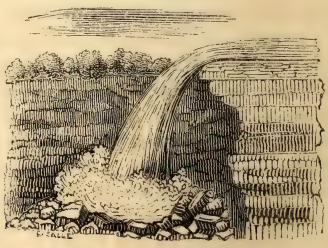


Fig. 44.



Escarpements produits par l'action des eaux.

culbutées : c'est ce qu'on voit fréquemment dans certains escarpements au pied desquels se trouvent des couches argilo-sableuses qui conduisent les sources au-dehors.

Quelque chose d'analogue arrive lorsque, baignant le pied des montagnes, les eaux y trouvent des matières qu'elles peuvent délayer ou désagréger. Ces matières étant détruites, les parties supérieures du terrain se trouvent bientôt en surplomb, et il se fait des éboulements plus ou moins considérables : c'est ce qui a lieu sur les côtes maritimes, sur les bords des lacs ou des rivières, où il se forme ainsi des escarpements plus ou moins élevés, qui se dégradent de plus en plus. La même chose se passe quelquefois au pied des cascades qui se précipitent par-dessus des rochers à pic, fig. 44, formés de dépôts alternatifs calcaires et argileux; ces derniers sont désagrégés et entraînés petit à petit par les eaux qui suintent le long de la paroi, ou qui rejaillissent après la chute, et les autres couches, mises en surplomb, ne peuvent manquer de s'ébouler tôt ou tard sous leur propre poids, et à l'aide des fissures qui résultent de leur soulèvement, § 92. Dans ce cas, la cascade s'enfonce dans la masse du terrain, et, le même effet se répétant successivement, il se forme une gorge de toute la largeur du ruisseau, et qui s'approfondit de plus en plus. C'est ainsi que la cascade du Niagara, par laquelle le lac Érié se précipite dans le lac Ontario, a reculé de douze kilomètres depuis l'établissement des Européens en Amérique, et probablement creusé le lit profond par lequel ses eaux s'échappent ensuite.

§ 64. **Effets du poids des eaux.** — L'eau agissant par son poids comme tous les autres corps, doit contribuer souvent aux éboulements que nous avons signalés, et il n'est pas moins certain qu'elle exerce ainsi une action puissante sur les digues qui peuvent la retenir. Nous en voyons les malheureux effets dans les inondations auxquelles diverses contrées sont exposées par suite de leur position au-dessous des fleuves, des lacs ou des mers, retenus par des digues naturelles ou artificielles. La formation du *Zuyderzée*, en 1225, et du *Bies-Boos*, en 1421 ; les inondations nombreuses des *polders*, celles qui ont désolé dernièrement la Camargue, en sont de tristes exemples, auxquels, à la vérité, l'action du courant a eu autant de part que l'élévation des eaux. Lorsque, par suite des éboulements, certaines vallées se trouvent barrées, les eaux amassées en lacs réussissent souvent, par leur poids seul, à pousser devant elles les obstacles qui s'opposaient à leur passage : c'est ce qui est arrivé dans la vallée de Bagne en Valais en 1818, et ce qu'on a vu souvent à la suite des tremblements

de terre, où les eaux, arrêtées momentanément, ont fini par faire plus de dégâts dans la contrée que le phénomène passager qui venait de l'ébranler, § 71.

§ 70. **Action des eaux courantes.** — A l'action délayante et au poids des eaux, se joint souvent une nouvelle force par le mouvement dont elles peuvent être animées, et qui dépend de la vitesse acquise en parcourant des pentes plus ou moins rapides. Cette force est quelquefois d'une prodigieuse intensité, et capable des plus grands effets, qu'on peut surtout observer dans les montagnes. D'abord, il n'est personne qui n'ait eu l'occasion de la remarquer, après les orages, sur les dépôts meubles si fréquents à la surface de la terre, et d'observer les ravines profondes qui se trouvent alors creusées; mais ces effets sont encore plus puissants partout où il y a des pentes plus rapides, et une masse d'eau plus considérable réunie sur le même point. Lorsqu'une trombe ou un violent orage vient fondre sur une haute montagne, il arrive souvent que le terrain, à moins qu'il ne présente absolument que le roc vif, se trouve balayé et raviné à une grande profondeur. Les fissures nombreuses dont la surface des rochers est criblée donnent immédiatement prise à l'action des eaux, et il se détache aussitôt une masse considérable de fragments qui augmentent de plus en plus le pouvoir destructeur du courant. Bientôt alors des blocs de toutes dimensions se trouvent enlevés, arrachés à la montagne (1), transportés à de grandes distances, décuplant, centuplant les effets en raison de leur masse et de la vitesse qu'ils acquièrent. De là des ravins effrayants sur des pentes jadis unies, et une immense accumulation de débris au pied de la montagne et sur toute la partie du terrain où la vitesse s'est successivement ralentie. Les torrents gonflés par les circonstances de ce genre, ou par la fonte subite des neiges, produisent également d'effroyables ravages; ils enlèvent tout sur leur passage, jusqu'au roc vif, que bientôt ils attaquent lui-même avec force au moyen des fragments et des blocs qu'ils poussent avec rapidité. Rien de plus effrayant alors que ces sortes de cours d'eau, qu'il faut avoir vus dans les gorges qu'ils parcourent, et roulant quelquefois des rochers de 10 à 15 mètres cubes, pour s'en faire une idée exacte.

Si, après la rentrée du torrent dans ses limites ordinaires, on parcourt les parties de la vallée qu'il a remplies, on trouve des

(1) Toutes les roches qui composent la surface terrestre sont fracturées de toutes les manières; c'est à la faveur de ces fissures que des blocs énormes peuvent être détachés en certains points par la force des eaux, tandis qu'en d'autres on voit en quelque sorte le terrain résister indéfiniment.

changements considérables dans le nombre et la position des blocs qu'on y observait auparavant. On remarque, tant sur le fond que sur les parties latérales, jusqu'à la hauteur des eaux, que les rochers sont fraîchement usés, cannelés, même très profondément lorsqu'ils sont calcaires; ce qui résulte évidemment de l'action des blocs pesants que le courant entraînait. Sur d'autres points, des cassures fraîches indiquent les arrachements violents de parties plus ou moins considérables de rochers, en même temps que la propreté du lit atteste le balayage des fragments et des terres qui se détachent journellement des parois.

§ 71. **Débâcle des lacs.** — Les lacs qui se forment quelquefois dans les vallées par les avalanches ou les éboulements qui viennent les barrer, offrent encore dans leur débâcle quelque chose de plus effrayant, par suite de la masse énorme d'eau qui peut s'écouler alors en quelques moments. A peine a-t-il commencé à se faire un écoulement par quelques fissures, que l'ouverture initiale augmente avec une prodigieuse rapidité, et qu'à l'instant, en quelque sorte, toute la digue est emportée. Un volume énorme d'eau se précipite alors avec une violence extrême, et rien ne peut résister à l'action combinée de la masse et de la vitesse, qui va quelquefois jusqu'à 15 et 20 mètres par seconde. Tout est culbuté, et les roches les plus solides, pour peu qu'elles fassent éperon sur la direction du courant, sont à l'instant arrachées, brisées, transportées à de grandes distances, et même en blocs énormes. Le déblaiement est si complet à l'origine du courant et dans les passages étroits dont la pente est rapide, que le roc mis à nu semble avoir été taillé par la main des hommes : c'est ce qui arriva lors de la débâcle du lac qui s'était formé dans la vallée de Bagne en 1818, et ce dont on voit encore des traces sur les flancs des vallées qui furent ainsi barrées dans la Calabre pendant les tremblements de terre de 1783.

On ne peut douter, en voyant de tels résultats, que si, par l'effet de quelques commotions souterraines, il se formait une fissure dans la digue d'un grand lac, comme le lac Érié, par exemple, il ne se creusât en peu de temps une brèche profonde, exactement comparable aux défilés qu'on observe si fréquemment dans les vallées, § 14, et qu'on est si fortement tenté d'attribuer à des débâcles de lacs placés jadis les uns au-dessus des autres, comme le sont aujourd'hui ceux de l'Amérique du Nord.

§ 72. **Torrents boueux.** — Il se fait aussi, par une cause ou par l'autre, des torrents de matières boueuses, dont les ravages ne sont pas moins terribles. Quelquefois il arrive, comme en Ir-

lande, que des tourbières placées sur de très légères pentes, après s'être gonflées, bombées plus ou moins en retenant l'eau des pluies, ne peuvent plus résister à la première averse et se mettent en mouvement. Elles s'écoulent alors, malgré la consistance de la pâte et la faiblesse des pentes, avec une prodigieuse rapidité, et renversent tout ce qui se trouve sur leur passage. Dans d'autres circonstances, les eaux de pluie détrempent des matières argileuses peu solides, s'amassent au milieu d'elles, et en un certain moment, les digues du réservoir venant à se rompre, il se fait un torrent de boue épaisse, rempli de fragments de roche, et même de blocs suspendus dans la masse visqueuse, qui s'écoule avec une rapidité effrayante, culbutant tout et creusant des ravins profonds. Tel est le cas des *Nants sauvages*, dans la vallée de l'Arve, sur la pente nord des Alpes. Les éruptions boueuses de Java et du Pérou, § 58, ont produit plus de désastres dans leur course sur la pente du terrain que par l'accumulation même du limon dont elles ont couvert la contrée.

§ 73. **Pentes des torrents et des rivières.** — Les eaux courantes produisent des effets d'autant plus désastreux que les pentes sur lesquelles elles se meuvent sont plus rapides; mais il ne faut pas croire qu'il soit nécessaire pour cela que leur lit ait une inclinaison considérable. Les torrents les plus rapides, formant un lit continu et entraînant des blocs de $\frac{1}{2}$ mètre de côté ou de diamètre, n'offrent que des pentes de 1 à 2 degrés, et beaucoup de rivières coulent avec une grande vitesse sur des pentes infiniment plus faibles : une pente de 3 à 4 minutes nous donne à peu près la limite des rivières navigables, et nos fleuves les plus rapides, qui offrent, à la vérité, une certaine profondeur d'eau, comme le Rhin, le Rhône, etc., ne présentent que des pentes de 1 à 2 minutes; dans plusieurs parties de leur cours, ils coulent encore sur une pente de 4 à 8 secondes. Ces données sont très importantes comme terme de comparaison; car on voit alors quels effets prodigieux pourraient être produits sur des pentes plus fortes et avec de plus grandes profondeurs. Il n'est pas nécessaire de pousser bien loin l'exagération; car si nos torrents de 1 ou 2 degrés de pente peuvent rouler des masses de $\frac{1}{2}$ mètre de diamètre, que serait-ce avec des pentes doubles ou triples! Que serait-ce, sans changer la pente, si la profondeur d'eau devenait égale à celle de nos fleuves! Il est clair que la boue, la pâte la plus visqueuse, pourrait acquérir une vitesse énorme et capable des plus prodigieux effets. Si les rivières cessent d'être navigables sur des pentes de 3 à 4 minutes, quelles seraient, malgré la faiblesse de l'inclinaison, la vitesse et la

force d'impulsion qu'elles pourraient acquérir avec de plus grandes profondeurs! Que ne doit-il pas s'être passé quand nous voyons, par divers phénomènes, que des eaux courantes ont pu remplir des vallées de plusieurs centaines de mètres de profondeur! On conçoit donc facilement les dégradations les plus épouvantables, le transport des blocs les plus volumineux, sans sortir à peine des limites des phénomènes actuels, §§ 144 à 148, 205 à 211.

§ 74. **Cailloux roulés.** — Dans les ravages que produisent les eaux courantes, les débris qui se trouvent arrachés aux montagnes sont transportés plus ou moins loin, selon que les inclinaisons du sol permettent à la force du courant de se conserver sur des distances plus ou moins considérables; mais à mesure que les pentes diminuent, la vitesse décroît successivement, et successivement aussi les plus gros blocs restent en arrière au fond de la vallée, puis ceux de moindre dimension, et ainsi de suite jusqu'aux sables et limons, qui sont souvent transportés à d'énormes distances. Dans ce roulis de différentes matières, les blocs et les fragments, se heurtant pendant leur transport, se frottant les uns sur les autres et contre la paroi solide du terrain, perdent successivement leurs arêtes et leurs angles, et finissent par être complétement arrondis, par former ce qu'on appelle des *cailloux roulés*, qui peuvent être plus ou moins volumineux. Toute la partie inférieure des torrents, là où le terrain s'aplanit suffisamment, où la vallée s'élargissant permet aux eaux de s'étendre en diminuant de profondeur, et par conséquent de vitesse, se trouve généralement couverte de ces cailloux, qui s'amassent quelquefois en quantité immense, et à travers lesquels, dans sa tenue ordinaire, le ruisseau serpente de différentes manières dans un lit qu'il s'est formé, et dont il change souvent aux diverses crues. Les rivières et les lacs dans lesquels les torrents se jettent, et où ils perdent par conséquent leur vitesse, s'encombrent aussi journellement de ces cailloux, et c'est, par exemple, la cause de l'élévation continuelle du lit du Pô. Les *graviers* et les *sables*, qui ne sont que des cailloux fins, les limons qui résultent de l'usure générale et des parties terreuses déblayées, sont toujours transportés au loin, soit immédiatement dans les lacs ou les mers, soit dans les rivières, qui les déposent successivement sur leurs bords, et surtout vers leurs embouchures que l'on voit alors s'encombrer de plus en plus, § 79.

Il se fait aussi des cailloux roulés ou *galets* en quelque sorte sur place, par l'action des flots sur les roches éboulées. C'est ainsi que, sur les côtes de France et d'Angleterre, les silex des craies sont arrondis, usés les uns par les autres, et constituent des bancs de galets considérables. Quelque chose de semblable a dû s'opérer

dans des points qui sont aujourd'hui à l'intérieur des terres, où l'on trouve des blocs arrondis, et très lisses dans toutes leurs parties, à peu de distance des rochers dont ils ont été évidemment détachés ; c'est ce qu'on remarque surtout fréquemment autour des buttes basaltiques de la partie sud des Cévennes, soit au milieu des masses de débris qui en forment les pentes, soit dans les alluvions qui composent les plaines voisines.

Dans les terrains boueux, § 72, qu'à la vérité on n'a jamais vus parcourir de grands espaces, les blocs et les fragments paraissent s'arrondir beaucoup moins que dans les cours d'eau. Une circonstance remarquable de ces torrents, c'est que les débris qu'ils renferment sont généralement déposés sur les bords des ravins qu'ils ont creusés, et au niveau même que la masse visqueuse atteignait, précisément comme s'ils avaient nagé à la surface : c'est la disposition que présentent les débris le long des Nants sauvages de la vallée de Sallenche.

§ 75. **Transport par les glaces et les glaciers.** — Si des cailloux, des blocs plus ou moins considérables, peuvent être roulés par les eaux à des distances souvent très grandes de leur place originaire, il est aussi d'autres moyens de transport qui se présentent fréquemment à nous. Tous les voyageurs qui ont visité les régions glacées des mers du Nord ont vu sur les rivages les glaces envelopper des blocs de roches plus ou moins considérables, et au moment des débâcles les glaçons flottants entraîner ces débris au large, les porter dans toutes les directions, les déposer de côté et d'autre sur les points où ils venaient échouer, ou les laisser aller au fond des mers. C'est ainsi qu'au Canada, au Groenland et sur les côtes de la Nouvelle-Zemble, etc., on a vu des blocs très volumineux transportés d'un lieu à un autre et à des distances souvent considérables du point de départ. Il n'est pas douteux que beaucoup de menus débris, empâtés de même dans la glace, ne soient transportés de la même manière, et n'aillent former çà et là des dépôts adventifs plus ou moins étendus.

Les glaciers, c'est-à-dire ces masses de grésil consolidé qui occupent les hautes vallées des grandes chaînes de montagnes, sont aussi des moyens de transport extrêmement remarquables. Diverses circonstances permettent à ces dépôts de se mouvoir constamment et de descendre sur la pente des terrains qui les supportent ; or leur surface se trouve couverte de fragments et de blocs tombés des montagnes environnantes, et il arrive que le tout est charrié lentement de l'extrémité supérieure à l'extrémité inférieure, et que des blocs, souvent d'une énorme dimension, se trouvent portés, sans avoir subi de frottement, à des distances considérables du lieu de

leur origine. Ces débris, par suite de divers phénomènes dans le détail desquels nous ne pouvons entrer, s'accumulent toujours sur les parties latérales du glacier contre les flancs de la vallée, et souvent aussi, par l'influence des vallées latérales qui amènent leur contingent, en longues bandes sur le milieu ; il en résulte de petites collines allongées, qu'on désigne sous le nom de *moraines*. Parvenus à l'extrémité inférieure du glacier, tous ces débris culbutent dans la vallée sur sa pente, et forment à son pied d'autres moraines, quelquefois assez élevées. Or, s'il arrive qu'après avoir augmenté pendant un certain temps, par suite d'une série d'étés froids, le glacier diminue par une succession d'étés chauds et prolongés, les moraines de diverses sortes restent sur le terrain abandonné par les glaces, et forment, les unes des espèces de digues plus ou moins hautes au fond et en travers de la vallée, les autres de longues bandes sur ses flancs et à une hauteur plus ou moins considérable. Ce sont alors autant de dépôts adventifs où l'on trouve entassées pêle-mêle, en fragments et blocs de toutes dimensions, toutes les roches de la vallée. Souvent on reconnaît de ces délaissements en divers points, même à d'assez grandes distances, qui indiquent les différents états des glaciers à diverses époques.

Il n'est pas inutile de remarquer que les pentes des glaciers sont toujours plus fortes que celles des rivières, et ne descendent jamais au-dessous de 3 degrés. Ce doit être par conséquent aussi la pente minimum des amas de débris restés sur les flancs de la vallée, par suite d'un affaissement rapide du glacier. On aura donc ainsi un moyen de distinguer ces résidus des moraines latérales, d'avec les dépôts qui pourraient avoir été faits par des courants dont les pentes sont beaucoup plus faibles, § 73.

§ 76. **Stries, cannelures, polissage des roches.** — Une circonstance que nous ne devons pas omettre, quelle que soit l'explication qu'on puisse en donner, c'est qu'on observe souvent dans les Alpes, autour des glaciers, soit dans les parties qui ont été abandonnées par les glaces, soit, en quelques points qu'on peut aborder, au-dessous même de ces dépôts, des cannelures et des stries parallèles, très nettes, formées sur la roche à peu près dans le sens du mouvement de translation de la masse. De grandes étendues de roches sont aussi usées, polies même, si la matière est assez résistante pour avoir conservé les traces de ces effets, jusqu'à des distances plus ou moins considérables, présentant aussi ce qu'on a appelé les *surfaces moutonnées*, ou ce qu'on a comparé ailleurs à des sacs de laine empilés les uns sur les autres. Or, on a pensé que ces effets remarquables étaient le résultat du frottement de la masse

de glace sur les roches qui la supportent aujourd'hui, ou qui l'ont supportée jadis à des hauteurs plus ou moins considérables. Mais sans pouvoir démontrer rigoureusement qu'il n'en est pas ainsi, et substituer une explication certaine des phénomènes, il est bon d'indiquer ici quels sont les doutes qu'on peut concevoir. D'abord, que la direction des stries soit celle du mouvement du glacier, il n'y a rien là de concluant, car c'est aussi la direction des vallées, dans lesquelles des eaux courantes auraient pu également se mouvoir autrefois. D'un autre côté, les stries aperçues sous les parties de glacier qu'on peut aborder ne prouvent nullement que ce sont ces dépôts qui les ont produites; elles pourraient avoir été faites antérieurement, tout aussi bien que celles que M. Durocher a observées au-dessous des dépôts de sables qui constituent les plaines situées autour de la Baltique, § 219. En un mot, ces cannelures, ces stries, tous les effets que nous avons cités, peuvent être antérieurs aux dépôts qui les recouvrent; et ce qui semblerait étayer cette supposition, c'est l'étendue même du phénomène bien au-delà des limites actuelles des glaciers. A la vérité, on a conclu de cette dernière observation que les glaciers s'étendaient jadis beaucoup plus loin qu'aujourd'hui; mais la théorie de la chaleur centrale conduirait plutôt à penser le contraire, car les effluves de chaleur qui sortent du sein de la terre ont été nécessairement plus fortes autrefois qu'elles ne le sont maintenant, et par conséquent les glaciers ont dû être moins allongés. Si, dans la vallée de Chamounix, ils paraissent s'être avancés jadis un peu plus loin que de nos jours (une lieue), cela peut tenir à quelques circonstances d'hivers plus froids qu'ils ne sont de nos jours, à quelques disposition des lignes thermales, résultats de quelque différence dans l'arrangement des terres, qui donnait peut-être à cette partie du monde le climat que nous trouvons aujourd'hui à Québec, sous la même latitude, § 17.

§ 77. **Action des vagues et des marées.** — Si les eaux qui humectent continuellement le pied desmontagnes peuvent en délayer, en désagréger les couches inférieures, et provoquer l'éboulement des parties qu'elles mettent en surplomb, il est clair que des eaux continuellement agitées, lancées parfois avec une force extrême sur les continents, doivent aussi avoir une action prodigieuse sur les côtes. Les flots ont en effet une énorme puissance, là surtout où des rochers abruptes se trouvent immédiatement exposés aux vagues d'une mer ouverte. Le choc est quelquefois tel que la terre tremble sous les pieds; que les digues les plus solides ne peuvent résister; que des blocs énormes de pierre sont arrachés, portés au

loin dans les terres, poussés à contre-pente sur le rivage, lancés quelquefois verticalement par-dessus les jetées, où ils roulent ensuite comme de légers cailloux : de puissants bancs de sable et de galets sont souvent déblayés, et des contrées entières se trouvent en un instant détruites.

Les chroniques et les traditions des contrées maritimes nous offrent de nombreux exemples des changements successifs, des désastres instantanés qui ont eu lieu dans un grand nombre de localités. Il s'en est fait d'immenses, et chaque jour il s'en fait de nouveaux sur les côtes plates, sableuses, qui bordent les mers dans les diverses parties du monde. Nous en avons des exemples fameux depuis les bouches de l'Escaut jusqu'au canal de Jutland, où l'on a vu se produire le Bies-Bosch, la mer de Harlem, le Zuyderzée, le Dollart, dans des irruptions extraordinaires de la mer, et où se sont opérés d'innombrables changements dans les îles, depuis le Texel jusqu'aux bouches de l'Elbe, dans les détours du Lymfiord, ou sur les côtes du Cattegat et de la Baltique. D'immenses coupures, des anses, des golfes profonds s'y sont formés à diverses reprises pendant les tempêtes, et s'y forment encore tous les jours par l'action ordinaire des vagues, qui tantôt apportent des masses de sable, et tantôt détruisent les digues qu'elles avaient jadis formées.

Mais ce n'est pas seulement sur les terrains meubles que l'action des flots se manifeste; elle a lieu également sur les roches les plus solides, et de là des modifications journalières dans les *falaises* qu'on trouve sur les côtes de France et d'Angleterre et dans toutes les parties du monde. Plus la côte est abrupte, plus elle est exposée aux dégradations des vagues, par la raison que, brisant immédiatement les flots, elle en éprouve le choc dans toute sa force. Sur les côtes plates, au contraire, le flot, courant sans obstacle, s'avance tant que sa force le lui permet, et jusqu'à ce qu'il ait insensiblement perdu toute sa vitesse ; il apporte alors, en sables et cailloux roulés, beaucoup plus qu'il ne détruit, même sur les terrains les plus meubles. La disposition naturelle des couches solides est tantôt opposée, tantôt favorable à l'action des flots : elle est opposée, lorsque ces couches, étant unies et bien homogènes, se trouvent inclinées vers la mer, fig. 45, parce que le retour d'une vague le long du talus diminue

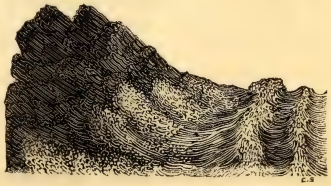


Fig. 45. *Action des vagues sur des plans inclinés.*

l'action de la vague suivante, dont le reste de force est uniquement employé à remonter sur le plan : ce n'est alors qu'à l'aide des crevasses et des fissures qui se trouvent dans la roche que les eaux parviennent à l'entamer. Il n'en est plus de même lorsque le terrain présente ses tranches à l'action des eaux, fig. 46 et 47 : les parties

Fig. 46. Fig. 47.

Action des vagues sur les rochers abrupts.

nférieures, attaquées continuellement par les chocs réitérés des flots que rien ne contribue à diminuer, se dégradent et se creusent successivement, et d'autant plus vite que la matière est plus délayable ou plus facile à désagréger : les couches supérieures, qui se trouvent alors bientôt mises en surplomb, ne tardent pas à s'ébranler et à se précipiter dans la mer. C'est ainsi que des parties considérables de côtes ont été bouleversées à diverses époques, que des promontoires ont disparu, que d'autres ont été coupés et séparés du continent. Ces effets deviennent très rapides dans les lieux où une mer profonde engloutit à mesure les blocs détachés, ou dans ceux où la force des vagues est assez puissante pour ballotter les débris, les user les uns par les autres et les déblayer successivement, de manière que le pied de l'escarpement reste toujours à nu : c'est ce qui arrive surtout quand le resserrement de deux côtes opposées détermine de forts courants, comme dans la Manche, entre la France et l'Angleterre, dans le canal Saint-Georges, etc., où les eaux de l'Atlantique, arrêtées dans leur cours, viennent battre avec fureur. Dans ces localités, la mer gagne constamment sur la montagne, et avec plus ou moins de rapidité, suivant le degré de résistance du terrain. Il existe en effet un grand nombre de narrations qui indiquent les dates des principaux éboulements, ou l'existence de phares, de tours, d'habitations, de villages même, qui ont été successivement abandonnés, et qui ont aujourd'hui complétement disparu.

Lorsque les masses de débris tombés des falaises ne sont pas immédiatement délayées, il en résulte, fig. 48, un rempart naturel contre les vagues, qui viennent s'y briser avant d'atteindre le pied de l'escarpement; ce n'est alors qu'à la longue que ces débris peuvent être usés, arrondis, et enlevés petit à petit, ce qui dépend du degré de solidité de la roche dont ils sont formés. On imite autant que possible ces remparts naturels en amenant des blocs de rochers au-devant des talus que l'on veut préserver, soit sur les côtes de la mer, soit sur les bords des rivières.

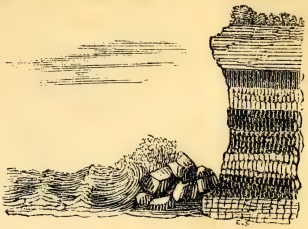


Fig. 48. *Accumulation de débris s'opposant à l'action des vagues.*

§ 78. **Exemples de ruptures.** — Quand on a observé l'effet journalier des vagues sur les continents, on est naturellement conduit à penser que les nombreux accidents de terrain qu'on remarque sur les côtes, et dont on ne peut préciser les dates, ont eu la même origine. Il est évident, par exemple, que c'est à l'action des flots qu'on doit attribuer certaines excavations qu'on trouve fréquemment au niveau des mers sur les falaises calcaires, et peut-être aussi les arches plus ou moins élevées qui traversent certains promontoires. Cependant il faut remarquer que cette action ne produit immédiatement de grands résultats que sur les matières délayables ou faciles à désagréger, comme la craie, les argiles, les matières arénacées, et qu'elle est infiniment lente sur les matières plus compactes et plus dures; il y a des points où, depuis les époques historiques, elle n'a produit aucun effet. Dès lors il ne suffit pas, pour expliquer tous les faits, d'admettre uniquement la force érosive des eaux, ni même l'effort impétueux des vagues, il faut encore remarquer que les terrains sur lesquels cette action s'exerce ont été fissurés de toutes les manières, soit par des actions antérieures, soit dans le moment même, par des tremblements de terre accompagnés de violentes agitations des mers, § 21, 92, et que c'est ainsi qu'ils ont cédé à l'action combinée des forces auxquelles ils étaient exposés. C'est par ce moyen qu'on parvient à se rendre compte de ces rochers isolés, de ces îles qui avoisinent nos continents, de ces grandes coupures au travers desquelles la mer trouve un passage, de ces groupes de rochers découpés qui forment des récifs au milieu des mers, enfin de tous ces démembrements si communs et si variés qu'on observe sur les côtes de France et

d'Angleterre, dans les nombreuses îles qui s'étendent vers les mers du Nord, fig. 49 et 50, et dans un nombre infini de localités.

Fig. 49.

Fig. 50.

Exemples de rochers rompus, façonnés par les eaux.

§ 79. **Dépôts de détritus formés par les eaux.** — Nous n'avons considéré jusqu'ici les eaux que comme des agents destructeurs; mais par cela même que continuellement elles dégradent certaines parties du globe, il arrive aussi nécessairement qu'elles créent quelque part de nouveaux dépôts en proportion de ce qu'elles ont enlevé. Les torrents, après avoir arraché des blocs, des fragments de toute espèce, les avoir réduits en cailloux roulés, § 74, les avoir entraînés à des distances plus ou moins considérables, finissent toujours par les déposer à mesure que la vitesse des eaux diminue, et par conséquent à la partie inférieure des vallées qu'ils parcourent, à leur confluent avec les rivières, ou leur embouchure dans les lacs où ils se jettent. De là des amas, quelquefois immenses, de débris, dont les parties grossières se trouvent liées par les limons qui se déposent en même temps.

Les grandes rivières, en coulant dans les vallées peu inclinées, laissent généralement en arrière les parties les plus grossières qu'elles ont reçues, et n'entraînent que celles dont le poids est en rapport avec la force qu'elles possèdent; mais comme il arrive souvent que leur pente diminue de plus en plus, et de manière à être presque insensible vers la fin de leur cours, elles laissent aussi successivement déposer les matières qu'elles charrient, et par là élèvent graduellement leur lit; elles finissent même par se barrer à elles-mêmes le passage et par se diviser en plusieurs petites bran-

ches dont chacune se fraie une route à travers les sables. Cette élévation continuelle du lit des rivières est extrêmement sensible dans une foule de localités ; mais nulle part elle n'est plus apparente que dans le Pô, dont il a fallu et dont il faut toujours élever successivement les digues pour éviter ses divagations dans les plaines de la Lombardie : aussi le lit de ce fleuve est-il devenu maintenant beaucoup plus haut que les maisons qu'on avait jadis construites sur ses bords.

Les rivières ont ainsi couvert de sable les pays plats qu'elles parcourent, sur une épaisseur et une étendue quelquefois très considérables. Dans les grandes crues, ces sables sont souvent remaniés, transportés d'un point à l'autre, et forment çà et là des amas plus ou moins puissants qui constituent tantôt des îles au milieu du fleuve, tantôt des *alluvions* sur l'un des bords, tandis que l'autre se creuse successivement. Mais c'est surtout à l'embouchure des rivières, dans des lacs ou dans les mers, que ces dépôts deviennent plus remarquables. Là, si le courant n'est pas assez rapide pour porter les débris au loin malgré la résistance qu'opposent les eaux tranquilles, ou si les vagues n'ont pas assez de force pour déblayer successivement les sables et les limons qui sont journellement apportés, il se fait des *atterrissements* plus ou moins étendus, ou ce qu'on nomme des *deltas* à cause de la forme triangulaire, aux embouchures de certains fleuves dans la mer : c'est ainsi que se sont formés les deltas du Rhin, du Rhône, du Nil, du Mississipi, et surtout du Gange, au fond du golfe de Bengale, où les atterrissements sont énormes. Ces deltas s'accroissent journellement pendant les crues que les fleuves éprouvent, et subissent parfois des transformations remarquables dans leur forme et leurs contours.

Les mers elles-mêmes, qui en tant de lieux battent nos continents en brèche, poussent et accumulent en d'autres une masse énorme de *galets* provenant de la trituration des roches tombées des falaises ; ou bien des masses de sable et de limon produites par les vagues ou apportées par les rivières. Il en résulte sur les côtes des *bancs* et des *plages* plus ou moins étendus, dont les parties fines, poussées par les vents, se portent successivement vers les terres et forment les dunes, dont nous avons parlé, § 65. Il existe un grand nombre de lieux où il s'opère journellement des accumulations de cette espèce, et beaucoup de points sur la côte ont été envahis par les dépôts de la mer depuis des époques connues : quelquefois, en une seule irruption, des contrées entières ont été couvertes de sables, et des pays fertiles transformés en plaines arides, soit dans les marées extraordinaires, soit dans les tempêtes ou dans

ces déplacements subits des eaux qui ont lieu pendant les tremblements de terre. Les côtes basses exposées à ces alluvions s'accroissent journellement aux dépens des eaux, et dans certains points cet accroissement a été évalué, peut-être avec un peu d'exagération, à plusieurs mètres par année. Il en résulte que des anses, des ports ont été comblés; que des constructions, des villes, situées autrefois sur les bords de la mer, en sont aujourd'hui à de grandes distances; que des lagunes ont été transformées en marais, des marais en terre ferme, et que des îles sont maintenant jointes aux continents par des ensablements qui se sont formés autour d'elles. La mer, apportant son contingent, contribue fréquemment aussi à l'accroissement des deltas, en ramenant vers ces points tout ce que les rivières avaient transporté au loin dans leur moment de crue.

§ 80. Non seulement les torrents et les rivières transportent et accumulent au loin les débris pierreux arrachés au sol, mais encore une grande quantité de débris organiques, et surtout une masse immense de végétaux que les ravines ou les éboulements ont entraînés : aussi se fait-il çà et là des amas considérables de ces matériaux, surtout dans les grands fleuves qui parcourent des contrées où la main des hommes n'a pas encore détruit les immenses forêts qui couvrent les montagnes. On cite surtout de grands dépôts de ces débris dans le fleuve de Mississipi, le plus long peut-être des fleuves de la terre, celui dont les affluents sont les plus considérables; ils y forment d'immenses radeaux de troncs d'arbres entrelacés, arrêtés çà et là dans les ensablements, et qui, successivement, se trouvent ensevelis dans les énormes alluvions que les eaux amènent journellement.

Les courants qui se sont établis au milieu des mers transportent fréquemment aussi des masses immenses de végétaux divers, de plantes marines et de débris organiques de toute espèce et de tous les climats, qui se trouvent déposés çà et là dans les anses que ces fleuves marins rencontrent sur leur passage : c'est ce qu'on remarque particulièrement à l'égard du grand courant atlantique, le plus fort et le plus considérable de tous, le long des côtes de l'Amérique et jusque dans les régions glacées du nord, où les courants polaires accumulent les débris de ces contrées avec ceux des autres parties du monde.

On ne saurait douter, en voyant tant de débris charriés par les eaux, que les lacs qui reçoivent des rivières ne se remplissent petit à petit de tous les matériaux qui y sont journellement apportés : c'est ce qu'on voit évidemment dans quelques uns d'eux, où il s'est fait ainsi des marais et des atterrissements considérables. Il doit

en être de même du fond des mers, où en définitive viennent aboutir toutes les eaux; on conçoit, en effet, qu'il doit s'y former journellement des dépôts considérables de toutes les matières qui y sont charriées, de celles que les vagues elles-mêmes arrachent aux continents, et de toutes les dépouilles des nombreux animaux qui pullulent dans ces vastes abîmes.

§ 81 **Dépôts des matières tenues en solution.** — Si les eaux dégradent et entraînent différentes matières, elles en dissolvent aussi quelques unes, § 67, et les déposent ensuite, par évaporation, sous la forme de sédiments solides, quelquefois même plus ou moins cristallins. C'est à l'infiltration de ces eaux, par exemple, que sont dues les stalactites de toute espèce qui se forment dans les diverses cavités souterraines, et dont la masse est surtout considérable dans les cavernes des pays calcaires (voy. *Minéralogie*). Mais il y a plus : certaines eaux sont assez riches en matières dissoutes, et assez abondantes pour donner lieu a la formation de dépôts fort étendus à la surface de la terre. Ce sont surtout celles qui, au moyen de l'acide carbonique, tiennent en solution une grande quantité de carbonate de chaux, et qui, fournies par des sources abondantes ou nombreuses, donnent lieu à des ruisseaux, et même à des lacs, au fond desquels se forment journellement ce qu'on nomme les *tufs calcaires*, dont il existe des dépôts très considérables. Presque partout on trouve de ces eaux; et, pour peu qu'en parcourant une contrée calcaire on ait la moindre volonté de rechercher ce qu'elle peut offrir à l'observation, il est impossible de n'en pas remarquer les effets. Ici, en s'éparpillant sur un terrain plat ou sur la pente d'une vallée, ces eaux incrustent les plantes qui y croissent successivement, et de ces incrustations agglomérées et superposées il résulte des rochers plus ou moins considérables dont la masse se consolide par les nouvelles eaux qui circulent dans les vides qu'elle présente, et en réunissent toutes les parties. Là, en roulant sur la pente d'un terrain dépourvu de végétation, ces eaux déposent des couches minces et successives qui en suivent les ondulations, et dont l'ensemble forme des masses compactes plus ou moins épaisses qui s'accroissent journellement. Ailleurs il n'est pas rare de voir les débris qui gisent au pied des montagnes ou des escarpements, cimentés plus ou moins solidement par la matière que ces eaux déposent entre leurs parties. Lorsque les eaux se rendent dans des marécages, elles en incrustent aussi toutes les plantes, et il arrive souvent alors qu'elles en recouvrent toute la surface d'une croûte sur laquelle se développent parfois de belles prairies; mais, peu agrégées, mal supportées par les incrus-

tations inférieures, ces croûtes superficielles offrent fréquemment un imminent danger à quiconque voudrait les traverser, par les fondrières qui se déclarent subitement sous les pas : les animaux surtout, attirés par la verdure, y sont fréquemment pris. Ce n'est qu'à la longue, par les eaux de même nature qui viennent successivement se perdre sous ces voûtes, que la base du dépôt prend plus de solidité, et qu'on peut ensuite le franchir avec une certaine sécurité, mais non sans trouver les traces des accidents qui y sont arrivés. Dans les lacs où se réunissent de telles eaux, il se forme des couches horizontales de matières calcaires plus ou moins solides, qui se remplissent souvent de coquilles fluviatiles, et même de coquilles terrestres que les ruisseaux y entraînent journellement des terres voisines.

Si un grand nombre de dépôts de tuf calcaire sont encore aujourd'hui en voie de formation, comme ceux de Vichy (Allier), de Saint-Allyre, près de Clermont (Puy-de-Dôme), où ils ont formé un pont au-dessus du ruisseau de Tiretaine, d'un assez grand nombre de lieux en Bourgogne, en Quercy, dans les Cévennes, etc., il en est beaucoup où il paraît évident que les sources ont perdu considérablement de leur ancien volume, et plus encore où elles sont entièrement taries depuis un temps immémorial : mais dans ceux-ci mêmes on reconnaît encore facilement l'origine des dépôts, par leur position en dehors des séries continues de formation dont nous parlerons dans la suite, et par la présence, la disposition et la nature, fluviatile ou terrestre, des débris organiques qu'on rencontre dans la plupart des cas.

C'est aussi par des eaux plus ou moins chargées de carbonate de chaux que les sables rejetés par les vagues, soit dans les lacs d'eau douce, soit dans les mers, sont journellement consolidés. On cite à cet égard les sables du lac Supérieur dans l'Amérique septentrionale, ceux qui s'amoncellent dans le golfe de Messine, en plusieurs points des côtes d'Angleterre, aux Antilles, et principalement à la Guadeloupe, à la Nouvelle-Hollande, où Perron dépeint ces eaux calcarifères comme produisant des effets prodigieux, et dans la plupart des îles de la mer du Sud. Ces matières arénacées deviennent souvent assez solides pour être employées dans les constructions, et en divers lieux elles sont journellement extraites des bords de la mer pour cet usage.

§ 82. **Dépôts siliceux.** — Un assez grand nombre d'eaux minérales, et surtout celles qui sont chaudes, renferment, en même temps que le carbonate de chaux, une certaine quantité de silice ; de là plusieurs tufs calcaires qui sont plus ou moins siliceux. Mais

il y a de ces sources où la silice est assez abondante pour former des dépôts considérables de tufs siliceux hydratés, tantôt à peu près purs, tantôt entremêlés avec diverses matières. Nous avons déjà cité les tufs des *geyser*, en Islande, § 62, dont les dépôts, de 3 à 4 mètres de puissance, s'étendent quelquefois jusqu'à un quart de lieue autour de la source. On en connaît de plus ou moins analogues, fournis également par des eaux chaudes, et souvent mélangés de matières étrangères, dans les monts Rocheux aux États-Unis, dans l'Inde, et aussi à Saint-Michel-des-Açores, où ils se trouvent par petits lits alternatifs et par veines dans des matières argileuses que les mêmes eaux amènent en abondance de l'intérieur de la terre. Dans tous il se trouve aussi des débris organiques, particulièrement végétaux, dont quelques uns sont passés à l'état siliceux, tandis que les autres ont disparu et ont seulement laissé leurs empreintes.

§ 83. **Structure des dépôts de sédiment. Effets de chute.** — Si l'on examine les dépôts de détritus qui se forment au pied des montagnes par la destruction journalière des roches, on reconnaît que leurs pentes présentent des inclinaisons très véritables, dont les plus fortes ne vont jamais à 45°, et dont les plus faibles ne descendent guère au-dessous de 20°; les variations entre ces limites se trouvent en rapport avec la grosseur, la forme des fragments et les circonstances de la chute, plutôt qu'avec la nature même des matières. De là il résulte que, si, à divers éboulements successifs, des variations dans la forme des fragments se joignent à celle des circonstances de chute, il se fera une accumulation de dépôts dont les pentes seront successivement plus faibles, et qui, dans les ravins creusés par les eaux, offriront à peu près la disposition *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, fig. 51, où chaque accroissement est plus épais dans le bas que dans la partie supérieure. Il est évident que la même chose pourrait avoir lieu dans les eaux stagnantes, privées de tout mouvement; d'où il suit qu'à la chute d'une rivière dans un lac à parois rapides il pourrait se former des talus considérables très inclinés, et que, par différentes crues qui amèneraient successivement des matériaux de grosseurs et de formes diverses, il se ferait aussi des dépôts analogues à ceux que nous venons de citer.

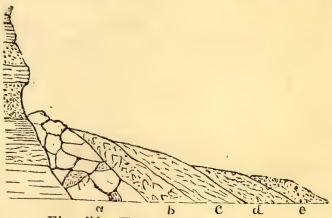
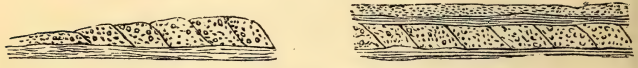


Fig. 51. *Talus d'éboulement.*

§ 84. **Effets d'entraînement.** — Si, en quelques points, même sous les eaux, il peut se faire quelques dépôts à couches inclinées entre 20 et 45 degrés, il ne faut pas en conclure pour des dépôts établis sur de grands espaces, où les eaux courantes, s'étendant librement, peuvent pousser les débris arrachés de toutes parts. Ici les pentes des talus sont beaucoup moins rapides; jamais elles n'atteignent le minimum des pentes d'éboulement, et elles ne parviennent même à 10 ou 12 degrés que dans des cas exceptionnels qu'offrent des torrents d'une grande rapidité, ou plutôt de véritables cascades, à l'endroit où ils se précipitent dans une vallée transverse, et où il y a autant chute qu'entraînement. Le lit des rivières les plus rapides est infiniment moins incliné, § 73, et les dépôts successifs se font dans la plupart à peu près horizontalement. Les graviers et les sables que les vagues poussent sur les côtes se déposent aussi sous des angles très faibles, et des pentes de 10 degrés sont des exceptions, même dans les localités exposées aux plus fortes lames; le plus souvent elles sont beaucoup au-dessous, et pour ainsi dire, horizontales.

Il arrive souvent, pendant l'entraînement des matières par des courants d'eau, et dans les crues des rivières où il se fait un remaniement du fond, qu'il s'opère des effets analogues à ceux que produisent les vents de mer sur les dunes, § 65. Des rides se forment en travers du courant; des matériaux divers, poussés par-dessus ces buttes initiales, s'accumulent derrière elles, en formant des talus d'éboulements successifs qui donnent au dépôt la structure fig. 52. Si le fleuve vient à changer de régime, il arrive bientôt que la surface ondulée du premier dépôt se trouve nivelée, et il se fait par-dessus des dépôts tranquilles, fig. 53, dont le précé-

Fig. 52. Fig. 53.



Structure produite par l'entraînement des matières.

dent se distingue par la *structure* particulière qu'il doit aux circonstances de sa formation. Ces effets, résultant du mélange de dépôts tranquilles et de dépôts rapides, se voient très clairement dans les atterrissements qui bordent nos rivières, et surtout dans les deltas qui terminent leurs cours, lorsque les eaux y ont creusé quelque ravin. On reconnaît alors que la masse du dépôt est formée d'assises sensiblement horizontales, à surface plus ou moins ondulée,

fig. 54, qui se distinguent les unes des autres par la grosseur des

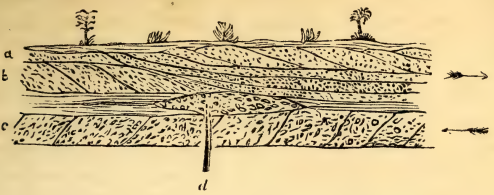


Fig. 54. *Structure observée dans les atterrissements des rivières.*

parties composantes, par la couleur, par des structures que les accumulations rapides ont produites, soit en poussant les matières dans le sens du courant habituel, comme dans les dépôts *a* et *b*, soit en sens inverse, comme dans le dépôt *c*, qui indique des contre-courants formés à un moment ou à l'autre. Souvent il se fait çà et là des amas particuliers, *d*, qui sont ordinairement formés de graviers plus grossiers, ou de débris organiques divers.

Rappelons que, derrière les différents obstacles qui peuvent s'opposer à un courant, il se fait souvent des accumulations de débris, allongées entre les deux branches latérales formées dans la masse liquide, et qui se continuent jusqu'à leur réunion : c'est ce qu'on voit fréquemment derrière les piles des ponts.

§ 85. **Effets des mouvements oscillatoires.**— Les grandes masses d'eau, sujettes, comme les mers, à des mouvements ondulatoires, nous présentent encore un autre ordre de faits ; non seulement les matières suspendues s'y déposent en couches horizontales, comme ferait un fluide plus pesant, mais encore les plus faibles agitations ne permettent à aucune particule matérielle de se fixer d'une manière stable sur des plans sensiblement inclinés, et tendent au contraire à combler toutes les inégalités du fond. Il est impossible, à la vérité, de constater immédiatement ces effets au fond des mers ; mais le nombre immense de sondages exécutés par la marine dans tous les points de l'Océan nous montrent clairement que tous les fonds mouvants ont des inclinaisons extrêmement faibles, que des pentes de $\frac{1}{2}$ degré sont déjà rares, et qu'au-dessus elles sont tout-à-fait exceptionnelles : d'où il résulte que dans ces grands amas d'eau les couches formées par les dépôts successifs doivent être tout-à-fait horizontales. Nous voyons d'ailleurs ce fait de la manière la plus claire dans certains lacs en tout ou en partie desséchés, où l'on rencontre des alternatives de couches de toute espèce nettement horizontales : c'est ce que présentent le lac Bakie,

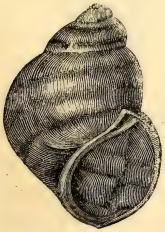
en Écosse, le lac Supérieur et le lac Huron, en Amérique. On reconnaît le même fait dans les fonds de mer soulevés qu'on rencontre en tant de lieux différents, et dont nous avons indiqué quelques uns en parlant des côtes de la Suède et du Chili, §§ 20, 23.

Cette disposition des matières diverses suspendues dans les eaux, et rassemblées lit par lit sur le fond des rivières, des lacs, des marais, est ce qu'on nomme la *stratification;* les dépôts eux-mêmes sont dits alors *stratifiés*. Cette circonstance distingue éminemment les dépôts formés par voie aqueuse de ceux qui ont été produits par la fusion ignée, qui sont le plus souvent *massifs* ou divisés irrégulièrement.

§ 86. **Nature des dépôts ; débris organiques.** — Les couches d'alluvion sont formées de cailloux roulés, de graviers et de sables, et aussi de limons plus ou moins analogues aux matières qu'on nomme argiles. Elles sont plus ou moins consolidées, tant sous leur propre poids que par les eaux chargées de carbonate de chaux ou de matières diverses qui peuvent les pénétrer. Dans les lacs, on voit des marnes calcaires et argileuses, qui ont surtout la propriété de se durcir à l'air, comme on l'observe dans quelques lacs à demi desséchés d'Écosse, dans les pierres de formation moderne qu'on tire de quelques marais de Hongrie, et dans celles du lac Supérieur et du lac Huron, aux États-Unis. On ne peut douter qu'il ne s'en forme de semblables dans les mers, puisque leurs eaux sont souvent assez calcarifères pour consolider les sables rejetés sur les côtes, et la nature des dépôts soulevés en tant de lieux différents ne peut laisser aucune incertitude à cet égard.

Ces dépôts sont fréquemment remplis des débris de tous les êtres organiques qui vivent actuellement à la surface du globe. Dans les alluvions des rivières on trouve les débris des coquilles fluviatiles qui vivent encore dans les mêmes lieux, fig. 55 à 57, ou des co-

Fig. 55.



Paludina vivipara.

Fig. 56.

Planorbis corneus.

Fig. 57.

Lymnea stagnalis.

quilles terrestres, telles que nos divers limaçons, qui constituent le genre *hélice*, souvent en grand nombre, qui sont entraînées par les ruisseaux ; il y a des branches et des tronçons de bois disséminés, des amas de végétaux plus ou moins altérés, quelquefois en partie bituminisés, des ossements d'animaux terrestres ou aquatiques, plus rarement des ossements humains, mais souvent des débris de l'industrie, comme des fragments de briques et de poteries, etc. Tout cela était facile à prévoir, et il suffit d'avoir été témoin des effets de quelque grande inondation pour comprendre tout ce qui peut être enseveli sous les eaux.

Les alluvions formées par la mer présentent des circonstances absolument analogues : seulement, elles renferment des débris marins de toute espèce, tantôt seuls, tantôt mêlés aux débris fluviatiles et terrestres apportés par les rivières. Les débris de l'industrie humaine, ancres, canots, etc., y sont fréquents, et l'homme même y a laissé ses propres dépouilles, non seulement dans les cimetières des villages envahis par les plages de sable, comme sur la côte de Cornouailles. mais encore au milieu des débris rejetés par la mer, comme à la Guadeloupe, où ses ossements se trouvent dans un sable consolidé par les tufs calcaires, et mêlés à des débris de l'industrie naissante. Dans les deltas, qui se forment en partie par les eaux douces, en partie par la mer, on observe des alternances de couches, les unes remplies de débris marins, les autres de débris d'eau douce ; mais dans d'autres circonstances tous ces restes se trouvent indistinctement mêlés.

Les dépôts argileux, marneux ou calcaires, formés dans les lacs, § 81, renferment des débris plus ou moins nombreux de coquilles fluviatiles, semblables à celles qui existent aujourd'hui dans les mêmes lieux, des coquilles terrestres entraînées de dessus les berges ou amenées par les ruisseaux, des poissons et, dans quelques cas, des débris de mammifères ; des plantes diverses y ont laissé leurs empreintes, ou y sont pétrifiées en carbonate de chaux, ou même en silice. C'est là ce qu'on observe partout où se forment des dépôts de tuf calcaire, ce qu'on a remarqué dans les lacs Bakie et Kinnordy, en Écosse, dans le lac Supérieur et dans le lac Huron, aux États-Unis d'Amérique, où les dépôts paraissent être très étendus.

Il n'est pas douteux que dans les mers les dépôts ne renferment également les débris des nombreux animaux qui y périssent journellement, et dont les dépouilles solides ne peuvent être transportées ailleurs. Les sondages nous en fournissent une preuve manifeste, et nous montrent des dépôts considérables en voie de

formation et de consolidation, qui sont formés de débris de coquilles, de madrépores, d'échinides, d'une immense quantité de coquilles microscopiques nommées foraminifères, à cause de leurs nombreux petits trous, et même de débris d'infusoires composant presqu'à eux seuls la vase qui encombre nos ports, §§ 101, 102. La drague a fréquemment rapporté des parties de ces amas de débris fortement agrégés entre eux, et fort analogues aux calcaires coquilliers grossiers de nos continents. Il existe aussi çà et là au fond des mers de grands amas de végétaux en voie de décomposition, et particulièrement dans les mers du Nord, où les capitaines baleiniers en ont fréquemment rencontré autour de Feroë, de l'Islande, du Spitzberg, etc. C'est en effet ce qui devait arriver, puisque les courants maritimes ne cessent de transporter les débris végétaux arrachés au fond des mers, et ceux qui sont apportés par les fleuves, § 80. On ne peut douter non plus que les couches sous-marines ne renferment de nombreux squelettes de poissons et de cétacés qui y terminent leur existence, et l'on cite en effet des sondages qui en ont arraché aux sables plus ou moins consolidés des bas-fonds. Du reste, comme les fleuves entraînent journellement des dépouilles de mammifères terrestres, leurs ossements doivent se déposer quelque part; il n'y a pas même jusqu'aux poissons d'eau douce dont les dépôts marins peuvent renfermer les restes, puisque dans les grandes inondations les poissons des rivières ne peuvent résister à la force des courants et sont entraînés à la mer. On a des exemples de rivières entièrement dépeuplées de poissons après de semblables catastrophes.

§ 87. **Rescifs de corail ou rescifs madréporiques.** — On nomme ainsi des formations, souvent très étendues, de polypiers pierreux agglomérés les uns avec les autres, qui, dans les mers intertropicales, constituent un grand nombre d'îles à fleurs d'eau, ou des bancs sous-marins dont la masse s'élève de plus en plus. Il y a à peine vingt ans qu'on supposait aux petits animaux qui forment ces dépôts, par une exsudation de suc calcaire, la faculté de vivre dans les plus grandes profondeurs de l'Océan; on pensait qu'ils commençaient à y établir leur demeure, et qu'ils en augmentaient successivement la masse jusqu'à former d'immenses montagnes, dont les sommets constituaient les rescifs actuels aussi bien qu'ils avaient donné lieu à la plupart des grandes îles qu'on trouve dans les mêmes parages. Ces êtres microscopiques, disait-on, tendent ainsi à combler l'immensité des mers, et préparent les plus prodigieux changements à la surface du globe. Mais toute cette exagération a disparu devant les observations de MM. Quoy et Gaimard.

dont l'ensemble a montré que les espèces qui contribuent le plus à la formation des rescifs, telles que les *caryophyllées*, fig. 58, les *méandrines*, fig. 59, et surtout les *astrées*, fig. 60, qui couvrent parfois des espaces immenses, les *madrépores* divers, fig. 61, ne peuvent vivre qu'à de faibles profondeurs, et qu'au-dessous de 8 ou 10 mètres il n'en existe plus de traces. C'est donc sur des rochers préexistants, déjà très élevés sous les eaux, et souvent à pentes très rapides, comme les sondages le font voir, que ces animaux commencent à s'établir ; et c'est de là qu'il peuvent ensuite accumuler leurs produits solides jusqu'au niveau des mers, où s'éteignent alors leurs dernières générations. Dès lors ils ne com-

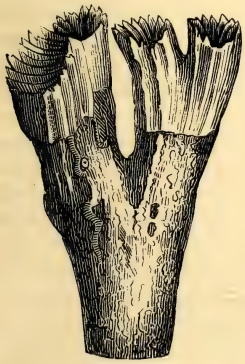


Fig. 58. *Caryophyllia fastigiata.*

Fig. 61. *Madrepora muricata.*

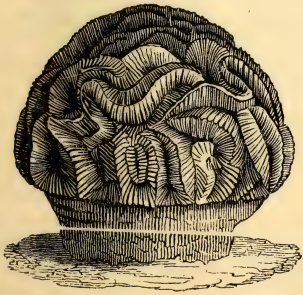


Fig. 59. *Meandrina labyrinthica.*

Fig. 60. *Astrea viridis.*

blent plus l'Océan ; mais les encroûtements qu'ils forment n'en ont pas moins d'importance, puisqu'ils ont quelquefois jusqu'à 8 ou 10 mètres d'épaisseur, s'étendent sur des espaces immenses et se répètent en un nombre infini de lieux, dans toutes les mers comprises entre les tropiques. Ils couronnent la plupart des montagnes sous-marines et couvrent des milliers de lieues carrées, répartis dans des milliers d'îles et d'îlots.

Ces polypes saxigènes, fixés sur toute espèce de rochers, entourent de leurs produits la plupart des grandes îles que nous connaissons, en formant au-devant d'elles des espèces de remparts qui en sont souvent séparés par des eaux profondes. Ailleurs ils forment des îlots, détachés, ou groupés de différentes manières, et dans tous les cas des brisants d'autant plus dangereux qu'on ne les aperçoit qu'au moment d'y être jeté, et que la profondeur des eaux n'offre aucun ancrage pour s'en garantir. Ce sont leurs dépôts qui rendent la navigation si difficile dans certains parages de la mer du Sud, et qui ont causé à la marine tant de pertes déplorables. Parmi toutes les formes que ces dépôts affectent, il en est quelques unes qui sont particulièrement remarquables, et qu'on n'a peut-être pas encore entièrement expliquées : tantôt ils présentent des recifs complétement annulaires, fig. 62, au centre

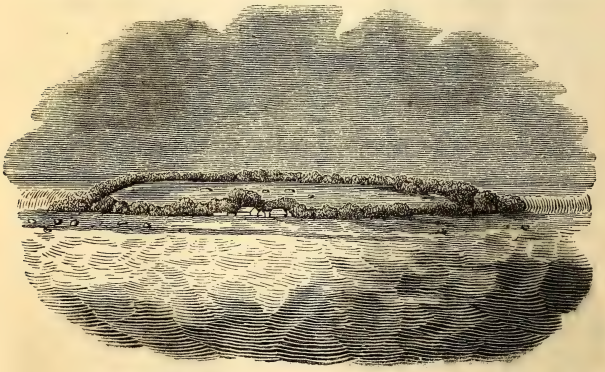


Fig. 62. *Ile madreporique de l'ocean Pacifique.*

desquels se trouve un lac fermé de tous côtés ; tantôt ils offrent des anneaux échancrés par une ou plusieurs ouvertures, au moyen desquelles on peut pénétrer dans l'intérieur ; ailleurs ce sont des groupes d'îles disposées en cercle, et dont on trouve souvent plu-

sieurs à la suite les unes des autres. Dans ces mers intérieures, les eaux sont souvent très profondes; mais quelquefois aussi elles sont très basses, et il s'y développe alors un nombre immense de polypiers qui tôt ou tard doivent combler tout l'espace. Il paraît évident que la plupart de ces rescifs circulaires ne sont autre chose que les bords de différents cratères de soulèvement, § 40, 41, sur lesquels les polypes se sont établis : ce qui conduit surtout à cette idée, c'est la nature volcanique de la plupart des îles du Grand Océan et la manière dont se sont faites quelquefois les éruptions sous-marines. Cependant on a élevé des doutes sur cette explication à l'égard de beaucoup de rescifs du même genre, et notamment de ceux qui constituent les groupes des Maldives et Laquedives, dans la mer des Indes. On s'est fondé surtout sur le grand nombre des groupes circulaires qu'on trouve dans certaines localités, et sur la largeur immense qu'il faudrait supposer aux cratères de soulèvement dans d'autres ; il y a là un sujet d'études nouvelles d'un grand intérêt, et les observations futures nous apprendront ce que l'on doit penser des idées d'affaissements successifs mises en avant pour expliquer la formation de ces sortes de rescifs.

On a remarqué autour des rescifs madréporiques, ainsi que dans es lacs qu'ils enferment, des limons blancs et mous, de nature calcaire, tout-à-fait analogues à la craie, qu'on a attribués à la désintégration des madrépores, aux déjections des vers qui percent les polypiers, ou à celles des poissons qui s'en nourrissent, et qui, en définitive, ne sont peut-être que des dépôts de foraminifères, § 86, 101. Ces limons paraissent former dans les mers du Sud des dépôts considérables dans un grand nombre de lieux.

§ 88. **Iles madréporiques ; rescifs soulevés.** Lorsque les rescifs sont parvenus à fleur d'eau, la mer les recouvre souvent de débris de toute espèce, sur lesquels la végétation se développe successivement : c'est ce qui a produit la plupart des îles basses du Grand Océan, qui reposent presque toutes sur des amas de polypiers. Un grand nombre d'autres îles se sont accrues sur leurs bords de la même manière ; et il en est beaucoup qui tôt ou tard s'accroîtront de même, car aujourd'hui, à marée basse, on peut s'avancer souvent sur les rescifs qui les bordent jusqu'à une demi-lieue de la côte. Mais une circonstance très importante, c'est que, dans beaucoup de lieux, on trouve maintenant à l'intérieur des terres, à 200 ou à 300 metres d'élévation, des dépôts absolument semblables et composés des mêmes espèces de madrépores : c'est ce qu'on voit à Timor, où les dépôts ont de 8 à 10 mètres

d'épaisseur ; à la Nouvelle-Hollande, à la Terre de Diémen, aux îles Mariannes, aux Sandwich, etc., où ils reposent sur des schistes argileux, des grès, des calcaires, des produits volcaniques, etc. : à l'Ile de France, un pareil banc, de 4 mètres d'épaisseur, se trouve placé entre deux courants de lave. La présence de ces dépôts dans de telles positions indique évidemment que toutes ces îles ont été soulevées du sein des eaux, et souvent à des reprises différentes, car on y trouve quelquefois aussi des bancs de madrépores à divers niveaux.

§ 89. **Tourbières.** — Il se forme journellement à la surface des continents, dans les divers enfoncements du terrain, dans les vallées à pentes douces, en un mot dans les lieux bas et marécageux, des dépôts de végétaux dont la décomposition fournit un combustible particulier nommé *tourbe*, et dont les amas portent le nom de *tourbières*. Ces dépôts ne se font cependant pas partout indifféremment, et n'ont lieu que dans des circonstances particulières. Il ne s'en fait ni dans les eaux courantes, ni dans les lacs profonds, ni dans les flaques d'eau passagères qui se dessèchent en certains temps; il ne s'en manifeste que dans les lieux où des eaux stagnantes, ou lentement renouvelées, peuvent se conserver constamment, et sous une profondeur peu considérable, cette dernière circonstance tenant sans doute à ce qu'il faut que les plantes puissent allonger leurs ramifications vers la surface pour recevoir l'influence de l'air et de la lumière.

La production de la tourbe est déterminée principalement par l'accumulation des végétaux cellulaires constamment submergés et qui se multiplient avec rapidité, comme les sphaignes, les conferves, etc. ; ce sont eux qui forment la pâte principale du dépôt, la matière qui enveloppe toutes les autres plantes aquatiques et qui concourt peut-être à leur décomposition. Il s'y joint aussi un grand nombre de végétaux terrestres qui sont amenés par les ruisseaux, soit dans leur tenue habituelle, soit dans leurs débordements. Fréquemment aussi on y trouve de grands arbres qui sont enfouis plus ou moins profondément dans la masse, et qui se font surtout remarquer dans sa partie inférieure, où ils sont amassés sur les sables et les argiles qui en forment le fond. Quelquefois ces arbres paraissent être debout ; mais le plus souvent ils semblent avoir été brisés sur place et renversés auprès de leurs racines, qu'on trouve encore fixées au fond de la tourbière. Dans certains cas, ils sont extrêmement nombreux, et semblent indiquer des forêts entières qui auraient été ensevelies dans le lieu même où elles croissaient, avant la formation de la tourbe. Toutes ces plantes

se rapportent à la végétation actuelle ; ce sont des arbres résineux, des chênes, des bouleaux, quelquefois des frênes, des ormes, etc. Les premiers sont en général les mieux conservés ; ils ont surtout gardé toute leur solidité, et sont seulement noircis ; les autres, au contraire, sont en quelque sorte réduits en terreau qui tombe en poussière par le desséchement. Il se trouve souvent aussi des débris de mammifères dans les tourbières, et ils appartiennent généralement encore à des animaux de l'époque actuelle ; ce sont des ossements de bœufs, des bois de cerfs et de chevreuils, des défenses de sangliers, etc.

Les tourbières reposent sur toute espèce de terrain. quelquefois sur les roches mêmes de cristallisation ; mais, dans tous les, cas il est rare qu'elles ne commencent pas par des dépôts de sables ou d'argiles, quelquefois par des cailloux roulés de la contrée. Il y en a où les débris végétaux accumulés ne forment qu'une seule masse plus ou moins épaïsse, plus compacte et plus noire à la partie inférieure que dans ses accroissements successifs; mais il en est d'autres où le combustible présente différentes couches séparées les unes des autres par des dépôts de sédiment plus ou moins épais, formés sans doute par des alluvions successives qui les ont recouvertes. Ces dépôts sont formés de sables, d'argiles, de marnes calcaires ou argileuses, renfermant des coquilles d'eau douce souvent en grande quantité, ainsi que des coquilles terrestres amenées sans doute par les ruisseaux ; quelquefois on croit reconnaître des couches de terre végétale intercalées. Souvent la surface du dépôt est encore recouverte par les eaux ; mais il arrive aussi qu'elle est couverte de terre chargée d'une épaisse végétation de plantes qui aiment l'humidité, et dont les racines se plaisent dans l'eau.

Nous avons vu que la tourbe ne se formait que sous des eaux peu profondes, et cependant il y a des dépôts de ce combustible extrêmement épais, qui semblent par conséquent avoir exigé des circonstances particulières. Ce fait, opposé aux observations les plus générales, conduit à penser que les lieux où l'on trouve de tels amas ont subi des affaissements successifs à mesure que les matières se déposaient : c'est à quoi conduisent aussi les petites couches de terre végétale interposées, qui suppose asséchement pendant un certain temps, puis submersion nouvelle ; enfin ces amas d'arbres aujourd'hui couchés au fond des tourbières, et donnant l'idée d'anciennes forêts renversées sur place, entraînent nécessairement l'existence d'un terrain primitivement à sec, qui plus tard a dû s'enfoncer pour recevoir et conserver les eaux.

Les tourbières sont abondantes à la surface du globe et se trou-

vent distribuées par bassins plus ou moins étendus à toutes les hauteurs, occupant les diverses dépressions du sol. Il y en a jusqu'au sommet des montagnes, comme dans les Alpes; sur des plateaux élevés, comme au centre de la France, dans le Limousin et l'Auvergne, dans les *fagnes* des Ardennes, dans les Vosges, etc., aussi bien que dans les plaines basses, où elles couvrent quelquefois un espace immense, comme dans la Silésie, la Prusse, le Hanovre, la Westphalie, la Hollande. Elles suivent souvent la direction des vallées, dont elles remplissent les anses, soit dans les hautes montagnes, soit dans les plaines hautes ou basses. C'est ainsi que nous les trouvons en France dans un grand nombre de petites localités, et que sont placés nos plus vastes dépôts dans la vallée de la Somme entre Amiens et Abbeville, où ils donnent lieu à des exploitations considérables.

Si la plupart des tourbières se sont formées au milieu des terres et uniquement par des végétaux fluviatiles, il en est qui paraissent s'être déposées dans des marais qui communiquaient avec les mers, comme la plupart de celles de la Hollande. Il y a des dépôts qui sont composés de varechs et de plantes marines, ce que l'on voit sur les côtes plates et sablonneuses de l'Océan, et particulièrement sur celles de la Frise et du Jutland. Quelquefois aussi il se fait dans les montagnes des dépôts adventifs de mousse, de feuilles, de débris divers, qui, accumulés au fond des vallées humides, donnent également lieu à une sorte de mauvaise tourbe dont il est presque impossible de se servir.

FORMATION ET MODIFICATION DE L'ÉCORCE SOLIDE DU GLOBE.

§ 90. **Résumé des observations précédentes.** — D'après l'exposé et la discussion des faits qui se trouvent dans les chapitres précédents, nous regardons comme établis en principes généraux de la science les divers résultats suivants:

Faits relatifs au globe en général.

1° La masse du globe a été primitivement fluide ; car autrement elle n'aurait pu se renfler à l'équateur, prendre la forme d'un sphéroïde de révolution, et augmenter de densité de la surface au centre.

2° Cette fluidité primitive est le résultat d'une fusion ignée, puisque la température va encore en augmentant de la surface à l'intérieur du globe, de telle manière qu'à 3 kilomètres il y aurait déjà 100 degrés, et qu'entre 20 et 40 tous les silicates seraient en pleine fusion.

3° La couche consolidée du globe, très mince aujourd'hui relativement au rayon de la masse en fusion, a dû être encore infiniment moindre dans les premiers temps du refroidissement; par conséquent les dislocations, les mouvements divers du sol ont été plus faciles encore qu'aujourd'hui.

Effets des tremblements de terre.

4° Dans les tremblements de terre, il se fait des crevasses plus ou moins étendues, plus ou moins profondes; des montagnes s'engloutissent, d'autres apparaissent subitement: des lacs s'écoulent à travers leurs digues rompues, ou se perdent dans des conduits souterrains, résultats évidents des crevasses faites à l'intérieur de la terre.

5° Dans ces phénomènes instantanés il se fait des soulèvements de terrain considérables, ou bien des affaissements qui ne le sont pas moins; mais il s'en fait aussi en différents lieux avec lenteur et progressivement sur des espaces très étendus. L'observation montre qu'il a dû s'en faire également à des époques antérieures.

Résultat des phénomènes volcaniques.

6° Les phénomènes volcaniques nous offrent aussi des soulèvements du sol, des crevassements profonds, des excavations plus ou moins vastes, à couches inclinées en dehors, qui forment ce qu'on nomme les *cratères de soulèvement*. Il s'élève du sein de la terre, ou sous les eaux, des montagnes coniques, tantôt pleines, tantôt offrant un canal au centre, et un cratère au sommet, qui sont composées ou de matières cristallines, ou de matières poreuses et scoriacées; ces montagnes sont quelquefois isolées, quelquefois groupées, et le plus ordinairement alignées sur une même fente.

7° Les éruptions commencent souvent par des déjections de matières pulvérulentes, dont l'accumulation forme les tufs volcaniques autour des volcans; les laves se font jour soit par le cratère culminant, soit par des crevasses latérales, quelquefois même très loin du foyer principal.

8° La forme des courants de laves varie beaucoup, suivant l'inclinaison des pentes sur lesquelles ils coulent. Sur des terrains inclinés il ne s'arrête que de faibles courants, qui se réduisent à une

bande étroite en forme de gouttière, offrant un bourrelet de chaque côté, très mince à la partie supérieure, et se terminant par un culot retenu dans le sac solide et tourmenté qui se forme par le refroidissement. Les grands courants ne s'arrêtent que quand ils sont parvenus sur un sol horizontal : ils ne laissent alors après eux, sur les pentes rapides, que des traînées minces de fragments incohérents et scoriacés ; sur les pentes faibles ils laissent des dépôts disloqués, formés de grandes pièces bousculées les unes sur les autres. Ce n'est que sur un sol horizontal que la lave s'accumule en galettes ou en nappes, plus ou moins épaisses, dont la surface est alors sensiblement unie.

9° Les caractères des laves, après le refroidissement, sont en rapport avec l'inclinaison des pentes sur lesquelles elles se sont arrêtées : la matière est scoriacée et fragmentaire sur des pentes rapides ; elle est poreuse et disloquée en larges blocs sur les pentes douces. Ce n'est que dans la plaine ou dans les bas-fonds que, accumulée sur une grande épaisseur, elle devient compacte, cristalline, plus ou moins porphyroïde dans la partie inférieure et souvent divisée en colonnes prismatiques verticales. La partie supérieure du dépôt présente alors une masse poreuse plus ou moins épaisse.

10° Les fentes produites par l'action volcanique restent quelquefois ouvertes dans le haut, ou s'y remplissent de rapilli ; mais, dans le bas, elles sont remplies de laves, qui forment alors des filons, ou des *dikes*, communiquant quelquefois à des nappes plus ou moins étendues dont ils ont fourni la matière.

11° Les vapeurs qui, dans les éruptions volcaniques, se dégagent des laves, des cratères, des solfatares, exercent une action puissante sur toutes les matières environnantes, les désagrègent, les réduisent en poussière ou en bouillie, et, séparant leurs éléments, en forment fréquemment de nouveaux composés.

Effets des agents extérieurs.

12° L'air atmosphérique, les alternatives de sécheresse, d'humidité et de gelée, exercent une action sensible sur la plupart des matières minérales qui se trouvent à la surface du globe. C'est de leurs dégradations par ces agents que résultent souvent les escarpements rapides que présentent les hautes montagnes, les éboulis qu'on trouve à leur pied sous des angles très variables, et qui, en se superposant, produisent des espèces de couches inclinées, plus épaisses vers le bas que dans le haut. Cependant il est difficile d'attribuer uniquement à ces effets les grandes désagrégations que

présentent certaines roches à leur surface, et, en particulier les granites de quelques contrées.

13° A la faveur de l'acide carbonique qu'elles prennent à l'air, les eaux rongent successivement les dépôts calcaires, surtout dans les hautes montagnes; mais elles agissent plus puissamment encore en délayant certaines roches, entraînant les parties peu agrégées, et laissant ainsi sans appui les couches supérieures : elles donnent alors lieu à des dislocations et à des éboulements plus ou moins considérables.

14° Les mouvements dont les eaux peuvent être animées joignent à ce premier effet une force d'impulsion qui est quelquefois prodigieuse; de là les falaises produites par les vagues sur les côtes qui bordent nos mers, les dislocations, les déchirures et les découpures de toutes les îles exposées à la fureur des flots.

15° Les eaux courantes, se trouvant animées d'une grande vitesse, arrachent, culbutent, entraînent tout ce qui se trouve sur leur passage dans les vallées qu'elles parcourent, dont elles dégradent et sillonnent les flancs en même temps qu'elles les approfondissent successivement. Ces effets dépendent de l'inclinaison du sol et de la profondeur des eaux : ainsi, dans nos torrents les plus fougueux, capables de rouler des blocs de $\frac{1}{2}$ mètre de diamètre sous une faible profondeur, la pente ne va pas à plus de 2 degrés; dans nos fleuves les plus rapides le lit n'est pas même incliné de plus de 3 à 4 minutes.

16° Les matériaux solides arrachés aux roches, étant ballottés, roulés par les eaux, s'arrondissent successivement par leurs frottements mutuels, et constituent ce qu'on nomme les galets, les cailloux roulés, les graviers, les sables et le limon. Jetés sur les rivages par les vagues, transportés par les ruisseaux et rivières jusqu'aux parties inférieures de leurs cours, ces débris s'accumulent dans les lacs et dans les mers, et forment des amas immenses, souvent à de très grandes distances des points d'où ils sont arrachés.

Dépôts formés par les eaux.

17° Les dépôts formés par entraînement aux embouchures des rivières présentent une série de couches ondulées horizontalement; mais ces couches offrent souvent divers accidents de structure plus ou moins obliques, qui résultent de l'entassement rapide des matériaux poussés par les eaux.

Les dépôts qui se forment tranquillement dans les lacs et dans les mers sont toujours en couches nettement horizontales, à surface

parallèle, même pour les matières arénacées; cette circonstance paraît tenir aux agitations ondulatoires, qui tendent toujours à égaliser la surface des matières qui se déposent dans les bas-fonds.

18° Les eaux qui tiennent des matières en solution les déposent petit à petit sur toutes les pentes qu'elles parcourent, et uniformément sous toutes les inclinaisons; elles consolident souvent les matières arénacées dans lesquelles elles pénètrent, et forment, dans les lacs où elles aboutissent, des couches solides, horizontales, par une cristallisation plus ou moins confuse : c'est ce qui a lieu probablement aussi dans les mers.

19° Les dépôts formés sous les eaux renferment toujours une quantité plus ou moins considérable de débris organiques, les uns épars dans les matières arénacées, les autres constituant, presque à eux seuls, des couches ou des amas très étendus. Ceux qui se sont formés dans les eaux douces contiennent des débris fluviatiles et terrestres; ceux qui se sont formés dans les mers renferment des débris marins. Cependant il y a fréquemment mélange ou alternance, surtout aux embouchures des rivières; et il est clair qu'il doit même en être ainsi au milieu des mers, par suite de l'entraînement de toutes les matières qui sont journellement transportées par les rivières, puis poussées par les courants que présente l'Océan. C'est ainsi que les plantes des tropiques peuvent se trouver mêlées avec celles des pôles, les végétaux terrestres avec les algues et les fucus qui vivent dans nos mers.

Rescifs madréporiques et tourbières.

20° Les rescifs madréporiques, qui ne dépassent pas aujourd'hui les mers intertropicales, sont établis sur toutes les roches sous-marines dont la profondeur n'excède pas 8 ou 10 mètres; de là ils s'élèvent jusqu'à la surface des eaux, et constituent des îles basses qui se couvrent souvent de mousse et de végétaux, ou des rescifs souvent très dangereux pour la navigation. Des bancs analogues se présentent dans les mêmes mers à 200 ou 300 mètres d'élévation, au milieu de certaines îles qui par conséquent ont dû être soulevées à des époques assez modernes.

21° Les tourbières, formées dans les dépressions du sol où des eaux peu profondes peuvent séjourner constamment, se trouvent éparses çà et là à la surface des plateaux plus ou moins élevés, comme sur celles des plaines basses, et suivent souvent la direction des vallées dont elles remplissent les anses. Ces dépôts présentent quelquefois diverses couches de combustible séparées les unes des

autres par des matières argileuses, sableuses ou calcaires, remplies parfois de débris de mollusques aquatiles ou terrestres qui vivent dans la contrée.

§ 91. **Application des faits.** — Après avoir établi le fait d'une chaleur centrale capable de tout tenir en fusion à peu de distance au-dessous de la surface que nous habitons ; après avoir montré les effets actuels des tremblements de terre et des actions volcaniques, avoir déterminé ceux que produisent les eaux tant en dégradation des continents qu'en formation de nouveaux dépôts, il est naturel de chercher à en déduire tous les phénomènes géologiques accomplis à la surface du globe depuis le moment de son existence. Il est à croire, en effet, que les causes qui agissent aujourd'hui sous nos yeux sont aussi celles qui ont agi de tout temps, mais qui sans doute ont déployé une énergie supérieure à de certaines époques que l'observation va nous faire connaître.

CONSÉQUENCE DE LA CHALEUR CENTRALE.

§ 92. **Premier effet du refroidissement.** — Les idées de fusion complète et de refroidissement, auxquelles nous sommes forcément conduits, nous font concevoir ce qui a dû se passer dès les premiers temps de la consolidation du globe. La première pellicule solide formée à sa surface, éprouvant par refroidissement un retrait plus ou moins considérable, a dû se briser dans tous les sens sous l'action de la matière fondue qu'elle recouvrait, nager en morceaux à sa surface, se ressouder de nouveau avec plus ou moins d'irrégularité pour se déchirer encore. Mais prenant plus de consistance, et pressant de plus en plus sur la partie liquide, celle-ci a dû sortir par les fentes plus rares qui se présentaient alors, et former au-dessus de la croûte des bourrelets saillants, plus ou moins étendus, qui ont pris successivement plus d'élévation à mesure que, la résistance de l'écorce devenant plus grande, il se faisait des réactions de plus en plus fortes. De là les premières rugosités, les premières rides qui ont pu donner prise à l'action des eaux, dont la précipitation eut lieu, sans doute, bien avant que la température de la croûte terrestre fût descendue à 100 degrés, par suite de la pression qu'exerçaient les vapeurs alors répandues dans l'air. Dès ce moment, l'action des vagues a pu produire des débris, des matières arénacées, et il a pu commencer à se former des sédiments. Probablement l'eau, à une haute température, et chargée des principes qui se dégageaient des masses solidifiées, comme aujourd'hui des laves, § 60, a attaqué les matières pierreuses, les a

désagrégées, les a dissoutes, et plus tard a pu former des dépôts chimiques ou consolider les débris. Nous trouvons, en effet, des dépôts formés de fragments, de cailloux roulés et de sables, dans les couches les plus anciennes que nous puissions apercevoir, et avant de rencontrer des débris organiques.

Il est clair que toutes les couches qui se sont consolidées successivement au-dessous de la première pellicule, soumises comme elle à la loi de contraction par refroidissement, ont dû comme elle aussi se remplir de crevasses dans tous les sens ; par conséquent toute la croûte terrestre ainsi formée n'a pu avoir la solidité qu'on aurait peut-être d'abord imaginée : elle n'a donc pu résister aussi efficacement qu'on pourrait le croire aux actions intérieures qui, ne trouvant d'obstacles que dans les dépôts de sédiment formés plus tard, ont pu et dû les disloquer à leur tour de toutes les manières. Nous observons, en effet, qu'il n'y a pas un dépôt à la surface du globe, qu'il soit sédimentaire ou cristallin, qui ne se trouve traversé par une multitude de fentes dans toutes les directions ; à la dernière surface même la plupart des roches sont brisées en petits fragments jusqu'à une assez grande profondeur.

§ 93. **Effet du refroidissement intérieur actuel.** — Remarquons maintenant que tant que la croûte terrestre a été dans le cas de se refroidir successivement, les choses ont dû se passer à peu près comme nous venons de l'indiquer; mais, parvenue à l'état stationnaire que nous reconnaissons aujourd'hui, il ne peut plus en être de même : il n'y a plus de retrait dans la pellicule superficielle, puisqu'il n'y a plus de refroidissement sensible. Cependant la masse intérieure se refroidit encore de plus en plus, quoique avec une lenteur extrême (1), et pour elle il y a, par conséquent, diminution de volume : or, la partie fluide tendant par adhérence à entraîner celle qui la recouvre, et qui devient successivement trop grande, il faut que celle-ci éprouve un resserrement sur elle-même, et se ride à la surface, comme il arrive dans les matières fondues, en se disloquant dans toute son épaisseur. Ceci peut se faire pendant quelque temps d'une manière lente; mais, à de certains moments, l'effet ne peut manquer aussi d'avoir lieu brusquement, et de là les catastrophes subites qu'éprouve la surface terrestre.

L'ensemble des observations, d'accord avec les considérations géométriques, nous montre que ces rides et ces dislocations se font suivant la direction d'un grand cercle de la sphère, et s'étendent sur la moitié de sa circonférence.

(1) Fourier a fait voir qu'il faudra 30 mille ans pour que l'accroissement de chaleur intérieure ne soit plus que de 1/2 degré par 30 mètres.

§ 94. **Origine des sources chaudes.** — Les sources thermales à différents degrés, qu'on rencontre en tant de lieux sur la surface de la terre, aussi bien que les jets de vapeur, ou *fumarolles*, § 62, s'expliquent avec la plus grande facilité par cette température propre et croissante du globe terrestre, et par les fissures qui pénètrent jusqu'à une profondeur plus ou moins considérable. Les eaux arrivent alors à la surface avec la température qui correspond au point d'où elles proviennent, et l'on sait qu'il ne faut que 3 kilomètres de profondeur pour qu'elles soient bouillantes, § 6. On conçoit alors aisément comment, pendant les tremblements de terre, il peut apparaître de nouvelles sources chaudes dans une contrée, et comment celles qui existaient peuvent se perdre, § 20 ; il suffit, pour le premier cas, que quelques fissures établissent communication depuis la surface jusqu'à la profondeur convenable, et, pour le second, que la communication existante se trouve interceptée.

§ 95. **Ancienne élévation de la température de l'Europe.** — Si la fluidité complète du globe a donné lieu à la forme ellipsoïde que nous connaissons, la chaleur qui s'est longtemps conservée, et qui se conserve encore au-dessous de la pellicule refroidie, a dû produire, et produit même aujourd'hui un grand nombre d'autres phénomènes. La surface terrestre est parvenue sans doute depuis longtemps à un état de chaleur à peu près stationnaire, qui n'a pas varié depuis les temps historiques, et qui ne peut plus diminuer, dans le cours d'un immense espace de temps que de $\frac{1}{30}$ de degré, seule influence que la chaleur centrale puisse ajouter aujourd'hui à l'action solaire, suivant les calculs de Fourier. Mais avant d'arriver à cet état, qui a probablement exigé des milliers d'années, la surface terrestre a dû passer par tous les degrés de température pour arriver de l'état de fusion, où la matière se trouve encore au centre, au degré de refroidissement actuel ; par conséquent, il fut un temps où elle avait une température propre capable d'effacer complétement la différence des climats, ou une atmosphère vaporeuse, § 96, qui, en annulant le rayonnement, diminuait la rigueur des hivers. Dès lors la végétation, la vie en général, pouvait être indifféremment entretenue à toutes les latitudes comme dans une serre chaude ou comme sous un climat maritime, § 17. Il suit de là que les plantes et les animaux qu'on ne trouve aujourd'hui qu'entre les tropiques pouvaient alors vivre partout, et même vers les pôles, qui ne pouvaient être encombrés par les glaces. Il ne serait donc point étonnant que nous trouvassions les restes de ces différents êtres ensevelis à peu près sur place, dans les contrées qui sont

aujourd'hui les plus froides du monde, et où il serait impossible qu'ils vécussent à l'époque actuelle. En voici des exemples :

Il existe en Angleterre, à l'île Portland, et sur plusieurs points du continent, intercalée dans d'autres dépôts, une couche de matière noire qu'on nomme *couche de boue*, et de petits lits argileux dans lesquels, au milieu d'un grand nombre de débris végétaux couchés et dispersés, on voit diverses plantes en place, fig 63,

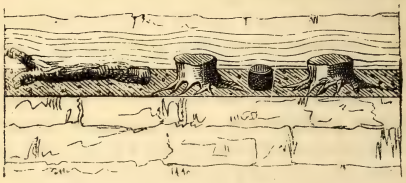


Fig. 63. *Couche de boue de l'île Portland.*

avec leurs racines qui s'étendent jusque dans les fissures du sol calcaire inférieur. Il y a donc eu là autrefois un sol végétal sur lequel ont crû toutes ces plantes aujourd'hui enfouies dans le sein de la terre. Mais au milieu des conifères analogues aux *araucaria* déjà étrangers à nos climats, il se trouve des plantes qui ont des rapports avec les *cycas* et les *zamias*, qu'on ne connaît que sous les tropiques, ainsi que des débris animaux qui se rapprochent de ceux de la même zone; il résulte de tout cela que la température moyenne, au moment de cette formation, était fort différente en Angleterre de ce qu'elle est aujourd'hui.

La plupart des dépôts de houille de l'Europe conduisent à la même conséquence. D'un côté, les arbres entiers qu'on y trouve, dont plusieurs sont encore debout avec leurs racines, comme on l'observe dans la mine du Treuil près de Saint-Étienne, fig. 64, dans les mines d'Anzin (Nord), en Angleterre, en Écosse, etc., semblent indiquer, comme dans les tourbières, § 89, des végétaux, qui se trouvent à peu près dans les lieux mêmes où ils ont vécu. De l'autre, il est évident, vu la belle conservation des parties végétales les plus délicates, et la manière dont les feuilles sont étendues sur les schistes, que tous ces débris ne peuvent avoir été charriés de loin. Or, toutes les plantes dont nous retrouvons les restes dans ces dépôts appartiennent à des équisétacées, à des fougères de haute taille, à des lycopodiacées, etc., qui ne peuvent être comparées qu'à celles que nous voyons aujourd'hui entre les tropiques; par conséquent le climat de l'Europe devait être alors fort différent de ce qu'il est actuellement.

Mais si dans nos latitudes nous reconnaissons ainsi dans certaines couches terrestres les débris d'une végétation intertropicale, nous trouvons également au-dessus d'elles des dépôts considérables où l'on voit nettement les restes des plantes dicotylédones de notre végétation actuelle. Donc la formation de ces derniers dépôts a dû s'effectuer bien longtemps après celle des premiers, et il s'est probablement écoulé, entre les époques, tout le temps qui a été nécessaire pour achever le refroidissement complet de la surface de notre planète.

Fig. 64. *Tiges verticales de la mine du Treuil.*

Les madrépores des recifs, qu'on ne trouve plus aujourd'hui en-deçà des tropiques, § 87, se sont jadis évidemment étendus jusqu'au-delà du cercle polaire. En effet, les calcaires des divers étages nous les présentent en grand nombre, et annoncent fréquemment des recifs comparables à ceux qui se font de nos jours. L'ensemble des faits nous montre que les limites de ces bancs de zoophytes ont successivement rétrogradé, depuis la formation des calcaires les plus anciens, § 157, jusqu'à la craie, § 188, qui en présente encore, comme à l'île Faxo en Danemark, et après laquelle ils se sont brusquement retirés entre les parallèles actuels; cela nous

montre encore que le climat européen est devenu successivement de plus en plus froid.

§ 96. **Cause présumée de l'ancienne élévation de la température moyenne.** — On conçoit facilement qu'avant le moment où la terre est arrivée au degré de refroidissement qu'elle présente aujourd'hui, les sources thermales devaient être infiniment plus nombreuses. Lorsqu'au lieu de $\frac{1}{30}$ de degré par mètre, § 6, la température croissait, par exemple, de $\frac{1}{3}$ de degré, c'est-à-dire 10 fois plus rapidement qu'à l'époque actuelle, et que dès lors, à 300 mètres de profondeur, se trouvait le point d'ébullition de l'eau, il est clair qu'un très grand nombre de sources étaient à 100 degrés, et que les fumarolles, maintenant assez rares, pouvaient être alors fort communes. De là il devait résulter des circonstances atmosphériques fort différentes de celles où nous nous trouvons; d'épais brouillards devaient se répandre à la surface des terres en l'absence du soleil, et dès lors le rayonnement vers les espaces célestes, cause si importante de refroidissement aujourd'hui, devenait tout-à-fait nul. Les hivers étaient par conséquent peu rigoureux, et cela nous explique encore comment tant de plantes et d'animaux, § 95, qui ne peuvent aujourd'hui supporter nos climats hyperborés, pouvaient y vivre alors comme entre les tropiques, et précisément comme les plantes du midi vivent sur les côtes et dans les îles du Nord constamment entourées de brumes épaisses. Toute la terre tempérée par ces vapeurs abondantes pouvait partout supporter les mêmes êtres organisés; et voilà pourquoi les couches minérales d'un âge déterminé présentent beaucoup moins de différence dans les débris organiques qu'elles renferment, en quelque lieu qu'elles se trouvent, qu'il n'en existe aujourd'hui parmi les êtres des différentes zones.

DÉPÔTS ATTRIBUABLES A DES SÉDIMENTS.

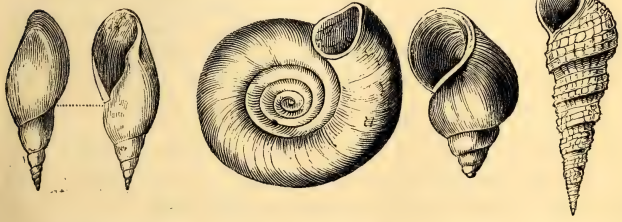
§ 97. **Comparaison générale.** — Nous avons vu les cailloux roulés, les sables, les limons se former par l'action des eaux courantes et des vagues; nous avons reconnu que, transportés, poussés par ces eaux, ils s'accumulaient dans les lacs, dans les mers, à l'embouchure des fleuves et sur les côtes. Toutes les fois donc qu'à l'intérieur des continents nous retrouvons ces formes de la matière, leur accumulation en dépôts plus ou moins considérables, nous sommes en droit de conclure qu'il a existé quelque part, près ou loin, des montagnes élevées d'où les matériaux ont été détachés, des cours d'eau qui les ont charriés, des eaux animées de mouvements ondulatoires qui les ont accumulés sur leurs rivages, et

souvent des lacs et des mers qui les ont reçus. D'après le plus ou moins d'abondance et la grosseur des cailloux, nous pouvons juger de la masse et de la force des eaux qui les ont transportés ; et leur nature, leurs traînées diverses, doivent nous conduire, jusqu'au point de départ, si aucune circonstance n'a détruit les traces que les courants ont laissées sur leur passage.

D'un autre côté, puisque c'est dans les lacs et dans les mers que nous voyons aujourd'hui se former des dépôts coquilliers, nous pouvons conclure que les nombreuses couches de même genre que nous trouvons à toutes les hauteurs sur nos continents et jusqu'au sommet des plus hautes montagnes, se sont également formées sous les eaux ; la nature des débris organiques nous fera distinguer si elles ont été déposées sous les eaux douces ou sous les eaux marines, sur les côtes ou au milieu des mers ; leur mélange, leur alternance, nous indiqueront des embouchures de rivières, des alternatives d'eau douce et d'eau salée, etc.

§ 98. **Dépôts d'eau douce.** — Les dépôts formés par les eaux douces se reconnaissent facilement à ce que les débris organiques qu'ils renferment sont comparables à ceux des différents animaux qui vivent dans nos rivières et dans nos lacs, § 86. Ce sont surtout des débris, des empreintes ou des moules, de coquilles comparables à celles des genres *limnée* et *planorbe*, comme fig. 65 et 66. Ces coquilles sont minces, comme celles de nos jours, fig. 56, 57 ; la première à spire saillante dont le dernier tour est plus ou moins ventru, à ouverture plus longue que large, dont le bord droit, qui est tranchant, remonte sur la columelle en formant un pli très oblique ; la seconde à tours de spire roulés sur le même plan. Les mêmes dépôts présentent souvent aussi des coquilles comparables aux *paludines*, fig. 67 ; aux *mélanies*, fig. 68,

Fig. 65. Fig. 66. Fig. 67. Fig. 68.

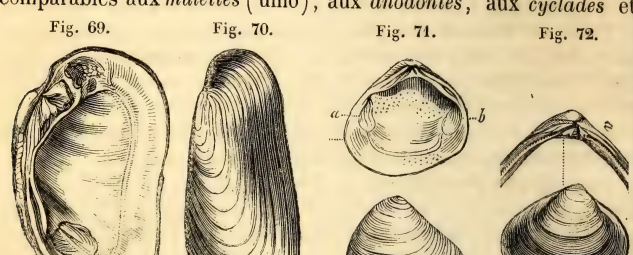


Limnea longiscata. *Planorbis evomphalus.* *Paludina lenta.* *Melania inquinata.*

et souvent à des coquilles terrestres du genre *hélice*. Les paludines sont des coquilles turbiniformes, à spire assez courte, dont les tours sont convexes, et par cela même séparés nettement les uns des autres; l'ouverture est anguleuse au sommet. Les mélanies sont à spire allongée ou, suivant le terme reçu, turriculée, tantôt à côtes, tantôt à tubercules plus ou moins saillants; l'ouverture est évasée à la base. Dans ces deux genres une opercule sert à fermer l'ouverture.

Les coquilles bivalves, plus rares que les précédentes, sont comparables aux *mulettes* (unio), aux *anodontes*, aux *cyclades* et

Fig. 69. Fig. 70. Fig. 71. Fig. 72.



Unio littoralis. *Anodonta Cordieri.* *Cyclas obovata.* *Cyrena trigonula*

aux *cyrènes*. Les premières, fig. 69, sont ordinairement épaisses, et présentent une dent allongée sur chaque valve, plus une dent courte et forte sur la valve droite et une double dent, comprimée et striée, sur la valve gauche. Les secondes, fig. 70, sont des coquilles minces et sans dents; enfin les cyclades et les cyrènes, plus arrondies, fig. 71 et 72, présentent sur chaque valve deux dents latérales allongées, comprenant entre elles une ou plusieurs petites dents.

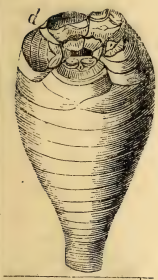
L'absence complète de toute espèce de polypiers, d'encrinites, fig. 75 à 76, et d'échinides, fig. 77 à 79, doit encore être notée comme un caractère important des dépôts d'eau douce.

Les dépôts qui présentent ces caractères sont fort communs à la surface du globe. Il s'en forme journellement au fond des amas d'eau actuels, § 81, 86, et nous en trouvons dans un grand nombre de lieux qui sont évidemment des fonds d'anciens lacs. Les tufs calcaires ou *travertins* de Tivoli, dans la campagne de Rome, sont dans ce cas; les calcaires de la Limagne d'Auvergne nous en offrent un autre exemple évident. Il en existe des lambeaux, qu'on parvient quelquefois à rattacher les uns aux autres

dans toutes les parties de la France, en Angleterre, en Allemagne, etc. Ils sont fort communs aux environs de Paris, où ils constituent la plupart des plateaux, soit à l'état siliceux (les meulières coquillières), soit à l'état calcaire (tout le plateau de l'Orléanais); on les trouve même à divers étages, où ils annoncent soit des retours successifs d'eaux douces et d'eaux marines, soit des embouchures de rivières dans les anciennes mers qui ont produit la masse de nos calcaires grossiers. Les bords du Rhin, la Suisse, le bas de la vallée du Rhône, le grand golfe qui s'étend de Marseille à Montpellier, etc., nous en offrent encore de nombreux exemples.

§ 99. **Dépôts marins.** Ceux-ci se distinguent généralement par l'analogie que présentent leurs débris organiques avec les dépouilles des animaux qui vivent dans les mers. Les plus éminemment caractéristiques sont des *polypiers* plus ou moins analogues à ceux des rescifs, fig. 58 à 61; des *encrinites* ou les débris de leurs diverses articulations, fig. 73 à 76; enfin des *échinides*, fig. 77

Fig. 73.

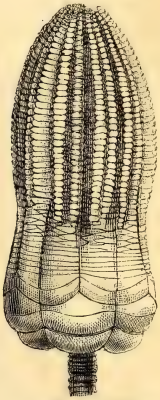


Apiocrinites rotundus.

Fig. 74.

Cyathocrinites planus.

Fig. 75.



Encrinites moniliformis.

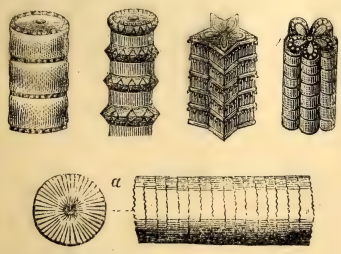


Fig. 76. *Diverses articulations d'Encrinites.*

Fig. 77. *Cidaris coronata.*

à 79. Aucun de ces corps organiques ne s'est jamais trouvé dans les eaux douces, et ce caractère, quoique négatif, est aussi extrêmement important.

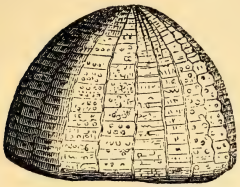


Fig. 78. *Ananchytes ovatus* (*de la craie parisienne*).

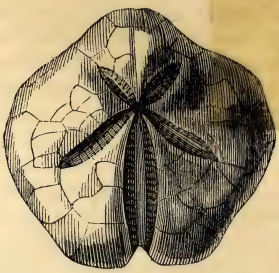
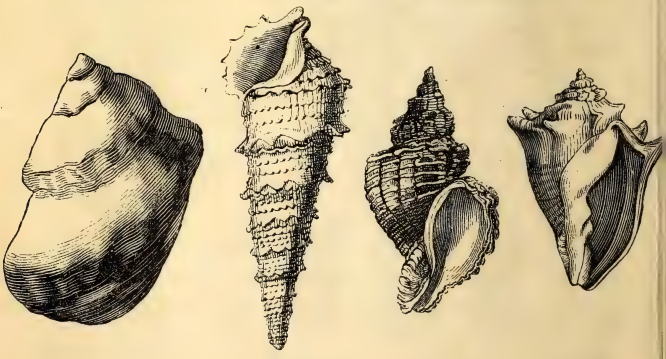


Fig. 79. *Spatangus ambulacrum* (*de la craie*).

Parmi les coquilles univalves, il s'en trouve quelques unes de plus ou moins analogues à celles que nous avons indiquées dans les eaux douces, quoiqu'elles soient généralement plus épaisses et plus fréquemment couvertes de tubercules, comme, par exemple, fig. 80. Mais laissant de côté ces débris sur lesquels, à la première

Fig. 80. Fig. 81. Fig. 82. Fig. 83.



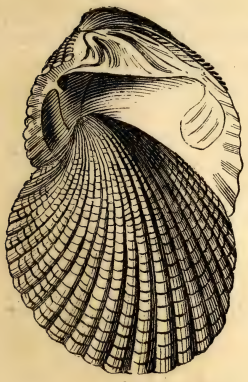
Turbo costarius. *Cerithium mutabile.* *Murex alveolatus.* *Voluta athleta.*

vue, on pourrait peut-être conserver quelque incertitude, nous en trouvons beaucoup d'autres qui sont assez caractérisés pour lever

tous les doutes. D'abord parmi les coquilles univalves il s'en trouve un grand nombre dont l'ouverture se termine par un canal plus ou moins allongé, ou par une échancrure, et qui appartiennent soit au genre *cérite*, fig. 81, dont un très petit nombre d'espèces vivent dans les eaux douces, soit au genre *murex* ou *rocher*, fig. 82, au genre *volute*, fig. 83, etc., qui sont tous marins, et qu'on trouve très abondamment dans les dépôts calcaires, si répandus à la surface du globe.

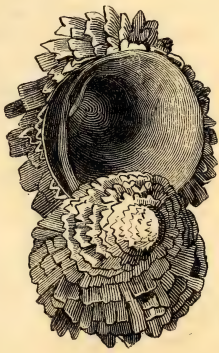
Quant aux coquilles bivalves, elles diffèrent généralement beaucoup plus encore de celles qu'on trouve dans les eaux douces; il en est qui rappellent plus ou moins nos huîtres ordinaires, ou même qui leur ressemblent au point de les croire exactement de la même espèce au premier abord; un grand nombre sont garnies de côtes, de stries, de rugosités, fig. 84, 85, et présentent, en un mot, une foule de caractères entièrement différents de ceux qu'on trouve dans les genres que nous avons déjà cités comme appartenant aux eaux douces, et dans lesquels la surface est ordinairement assez lisse.

Fig. 84.



dia imbricata.

Fig. 85.



Cama foliacea.

Fig. 86.

Nautilus truncatus (*du lias*).

Ajoutons que c'est dans les mers seulement qu'on rencontre les coquilles chambrées, comme celles du genre *nautile*, fig. 86, dont on trouve des espèces depuis les dépôts les plus anciens jusqu'aux plus modernes. Ce sont les seuls corps auxquels on puisse com-

parer les nombreuses espèces d'*ammonites*, fig. 87, dont il n'existe pas d'analogues actuellement vivantes, et dont les couches terrestres sont remplies.

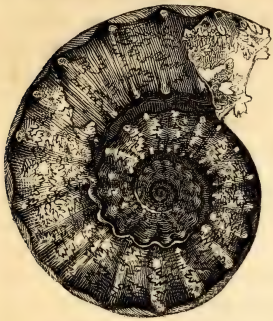


Fig. 87. *Ammonites catena (du lias).*

Fig. 88. *Serpule dans le cardium porulosum (calcaire parisien).*

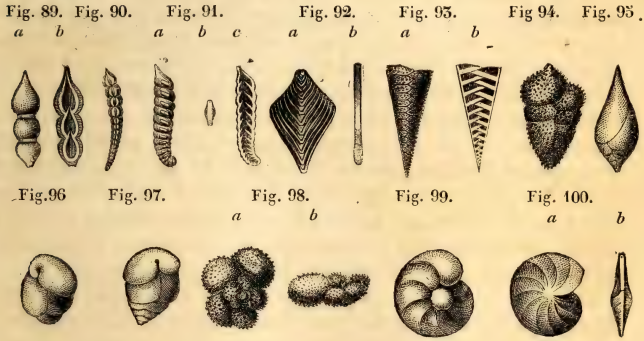
§ 100. Tous ces dépôts ont dû, en général, se former lentement, par l'accumulation des débris des êtres qui périssaient successivement, et non par des catastrophes subites qui les auraient tous ensevelis vivants. En effet, on trouve fréquemment dans l'intérieur même des coquilles des animaux parasites, fig. 88, qui n'auraient pu s'y fixer si le mollusque n'avait été préalablement détruit. Souvent même la dépouille du parasite est encore remplie par d'autres, ce qui montre qu'elle a dû longtemps séjourner au fond des mers. Les deux pièces des coquilles bivalves sont aussi fréquemment séparées, ce qui fait voir encore que l'animal était mort avant qu'elles fussent enfouies. Enfin les débris organiques sont percés par des lithophages, aussi bien que les cailloux calcaires qui les accompagnent, ce qui conduit aux mêmes conséquences.

Il faut admettre aussi que ces dépôts sont sur la place même où les animaux ont vécu, car ils renferment un grand nombre de coquilles intactes dont les appendices les plus délicats sont d'une conservation parfaite. Cette circonstance ne peut s'accorder avec l'idée d'un transport par des courants, qui auraient tout brisé.

Au moyen des débris que nous venons d'indiquer on reconnaîtra toujours les dépôts marins, si abondants à la surface du globe, et qu'on trouve si fréquemment en France. Tous les environs de Paris, la Normandie, l'Artois, la Picardie, la Franche-Comté, la Bourgogne, les Cévennes, le Dauphiné, la Provence, etc., nous en offrent de tous les âges et de tous les genres.

§ 101. **Dépôts de foraminifères.** — Indépendamment des mollusques, des échinides, des polypiers, etc., il y a beaucoup d'autres débris organiques qui ont concouru plus puissamment encore à la formation de certains dépôts géologiques: ce sont les foraminifères, § 86, et même les infusoires, qui sont devenus inportants depuis les découvertes de M. Ehrenberg.

Les foraminifères sont des coquilles essentiellement marines, dont la plupart restent beaucoup au-dessus de 1 millimètre, et dont les plus grandes ne dépassent guère 2 ou 3. Malgré leur petitesse, ces coquilles offrent cependant plusieurs loges, ce qui a conduit jadis à les rapprocher des coquilles chambrées, fig 86, 87, et par suite à regarder les animaux qui les produisent comme des céphalopodes; mais on sait aujourd'hui que c'est plutôt vers les infusoires qu'il faut chercher leur place. Les petites loges dont se composent les foraminifères sont groupées de différentes manières, ce qui conduit à plusieurs divisions où l'on distingue ensuite un grand nombre de genres, dont nous représentons quelques uns extrêmement grossis, fig. 89 à 105, pour en donner une idée:



Loges empilees sur un seul axe.

Fig. 89. *a.* Nodosaria limbata.
b. Disposition intérieure des loges.
Fig. 90. Dentalina sulcata.
Fig. 91. *a.* Marginulina trilobata.
b. Vue en dessus de la dernière loge.
c. Disposition intérieure des loges.
Fig. 92. *a.* Flabellaria rugosa.
b. Vue dans l'autre sens pour montrer l'aplatissement.

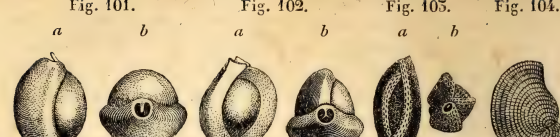
Loges alternant de chaque côté de l'axe.

Fig. 93. *a.* Textularia turris.
b. Disposition intérieure des loges alternes.
Fig. 94. Sagrina rugosa.
Fig. 95. Pyrulina acuminata.

Loges disposées en spirale turbinée ou discoïde.

Fig. 96. Bulimina brevis.
Fig. 97. Bulimina Murchisonii.
Fig. 98. *a.* Globigerina cretacea.
b. Vue de profil.
Fig. 99. Rotalina Voltzii.
Fig. 100. *a.* Cristellaria rotula.
b. Vue dans l'autre sens.

Fig. 101. Fig. 102. Fig. 103. Fig. 104. Fig. 105.



Loges réunies parallèlement à un axe.

Fig. 101. *a.* Biloculina bulloides.
b. Vue par le sommet.
Fig. 102. *a.* Triloculina trigonula.
b. Vue par le sommet.

Fig. 103. *a.* Quinqueloculina saxorum.
b. Vue par le sommet.

Loges divisées par des cloisons ou des tubes.

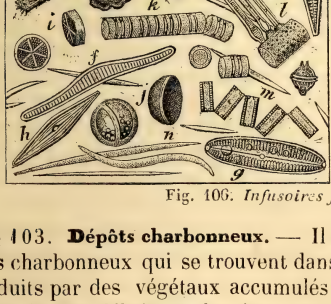
Fig. 104. Orbiculina numismalis.
Fig. 105. Alveolina Boscii.

Ces petites coquilles, dont on connaît 700 à 800 espèces fossiles, se trouvent accumulées en nombre immense dans les couches terrestres, et constituent à elles seules des dépôts calcaires très considérables, dont la craie, § 180, et les terrains tertiaires, § 192, nous offrent des exemples dans toutes les parties du monde.

§ 102. **Dépôts d'infusoires.** — Les infusoires, qu'on trouve dans les eaux douces et dans les mers, plus petites encore que les foraminifères, ne sont visibles qu'avec les forts grossissements du microscope. Malgré cette ténuité, il en est un assez grand nombre qui sont munis d'une carapace dont la nature est siliceuse, et par conséquent susceptible de se précipiter au fond des eaux avec les débris des plantes microscopiques qui y vivent en même temps. Or, quoiqu'il faille plus de 2 millions de ces corpuscules pour faire 1 millimètre cube (plus de 130 pour 1 millimètre de hauteur), M. Ehrenberg a fait voir que leur accumulation a produit encore des dépôts très étendus, de plusieurs mètres d'épaisseur, et a concouru puissamment à la formation de beaucoup d'autres. Ils constituent, en effet, en presque totalité, les matières terreuses formées de silice qu'on désigne sous les noms de terre ou schiste à polir et tripoli, farine fossile, limon siliceux ou *gouhr* siliceux; ils se trouvent souvent en abondance dans les silex, les opales, et surtout dans les matières terreuses qui enveloppent les parties translucides; ils existent en très grande quantité dans la plupart des marnes, surtout celles des dépôts lacustres, dans les calcaires solides de même formation, dans la craie, etc. Ce ne sont plus seulement aujourd'hui les tripolis de Billin, les gouhr siliceux de Franzenbad, etc., qu'on peut citer comme exemples, il en existe partout, et quand on rencontre un dépôt terreux fin, une marne, même de la limonite des marais, on est presque certain de le trouver rempli de ces petits êtres. Il en existe des dépôts de 20 mè-

tres d'épaisseur dans les plaines basses de l'Allemagne occidentale, à plus ou moins de profondeur sous les sables de ces contrées. Une circonstance très remarquable, c'est que sous la ville de Berlin, une de ces couches est formée d'infusoires qui vivent et se propagent encore, entretenus sans doute par les eaux de la Spree, qui se trouvent plus élevées.

M. Ehrenberg a déjà décrit un grand nombre d'infusoires fossiles de toutes les parties du monde et de terrains différents, qui constituent un grand nombre de genres dont nous représentons quelques uns, sous de très grandes dimensions dans les figures suivantes.



a. Desmidium apiculosum.
b. Euastrum verrucosum.
c. Xantidium ramosum.
d. Peridinium pyropherum.
e. Gomphonema lanceolata.
f. Hemanthidium arcus.
g. Pinnularia dactylus.
h. Navicula viridis.
i. Actynocyclus senarius.
j. Pixidula prisca.
k. Gallionella distans.
l. Synedra ulna.
m. Bacillaria vulgaris.
n. Spicules d'éponges.

Fig. 106. *Infusoires fossiles.*

§ 103. **Dépôts charbonneux.** — Il est incontestable que les dépôts charbonneux qui se trouvent dans le sein de la terre ont été produits par des végétaux accumulés; ce qui le prouve, ce sont d'un côté les débris que le microscope fait découvrir dans les combustibles aussi nettement que dans la tourbe, § 89; de l'autre, les tiges et les feuilles nombreuses qu'on rencontre dans les matières terreuses qui les renferment. Tout le monde est d'accord à cet égard; mais il n'en est plus de même relativement au mode d'accumulation. Quelques géologues pensent que tous ces dépôts sont le résultat de l'enfouissement de grands radeaux de plantes, transportés par les fleuves ou les courants maritimes et échoués en différents lieux; les autres croient, au contraire, que la plupart se sont formés à la manière des tourbières, dans les dépressions marécageuses d'un sol découvert, où les ruisseaux pouvaient apporter aussi les débris de la végétation environnante.

La première idée a contre elle l'énorme épaisseur qu'il faut supposer à un radeau pour obtenir, entre deux lits de matières arénacées, des couches combustibles telles que nous les connaissons. En effet, en prenant en considération le poids spécifique des bois, leur contenu de carbone, relativement à ce que présentent à cet

égard les dépôts charbonneux, on trouve que ceux-ci ne peuvent être que les $\frac{22}{100}$, ou même les $\frac{7}{100}$, suivant les plantes, du volume primitif des matériaux qui leur ont donné naissance. De plus, en évaluant les vides nombreux que produit l'entassement irrégulier de ces débris dans un radeau, on reconnaît que la houille, par exemple, qui est formée par les plantes spécifiquement les plus légères, comme les équisétacées, les fougères, etc., ne peut guère avoir dans ses couches que les $\frac{35}{1000}$ de l'épaisseur du radeau qui les aurait formées. Il en résulte que des couches de houille de 1, 2, ... 30 mètres, comme nous en connaissons, auraient nécessité des radeaux de 28, 57, ... 857 mètres d'épaisseur, ce qui dépasse évidemment les limites de la vraisemblance; de tels radeaux ne pourraient même flotter ni dans nos rivières, ni dans la plus grande partie de nos mers.

L'idée de formation analogue à celle des tourbières ne présente pas les mêmes difficultés, et n'exige que du temps pour l'accumulation des matériaux organiques nécessaires. A la vérité, dans l'état actuel des choses, ce temps pourrait être très considérable; car, suivant le calcul de M. de Beaumont sur la quantité de carbone que produisent annuellement nos forêts actuelles, il ne pourrait guère se former sur l'étendue des dépôts charbonneux connus que 16 millimètres de ce combustible en un siècle. Mais tout porte à croire qu'à la température moyenne de 21°, lorsque l'atmosphère était remplie de vapeurs, § 96, et avec les genres de plantes qui croissaient alors dans nos contrées, la végétation était infiniment plus vigoureuse qu'aujourd'hui; on est même conduit à penser qu'à l'époque de ces formations, où la terre n'était pas encore au degré de refroidissement qu'elle présente actuellement, il se dégageait de son sein beaucoup d'acide carbonique, et que la fixation du carbone par les plantes se faisait dès lors plus rapidement. Au reste, ce ne sont pas seulement les dépôts de houille qui réclament un si long espace de temps; il en est de même pour tous les sédiments, et des dépôts calcaires uniquement formés de coquilles, qui acquièrent des épaisseurs bien plus considérables encore, ont certainement exigé bien des siècles pour arriver à ce point.

L'hypothèse qui assimile les dépôts de houille aux tourbières se trouve encore fortifiée par les différents caractères qu'ils présentent: tels sont d'un côté les nombreux débris de cryptogames cellulaires que l'examen microscopique fait découvrir dans ces combustibles comme dans la tourbe, les arbres debout avec leurs racines qu'on trouve au milieu des dépôts, et la conservation remarquable des feuilles dans les schistes; de l'autre, la disposition

en bassins plus ou moins étendus, isolés les uns des autres, § 160 à 164, encaissés par des roches antérieures; toutes circonstances qui semblent indiquer des flaques d'eau, des lieux marécageux formés dans les dépressions d'un sol découvert. Fréquemment aussi on reconnaît qu'un certain nombre de petits dépôts indépendants font partie d'un bassin plus étendu, d'une espèce de lac rempli de matières arénacées contemporaines, à la surface desquelles il se serait formé autant d'amas particuliers de combustible; il en est qui sont comme renfermés dans des espèces de vallées anciennes, sur la longueur desquelles ils sont dispersés. Toutes ces circonstances se présentent dans les dépôts du centre et du midi de la France, § 241, depuis la Bourgogne jusqu'au fond du Languedoc, et dans ceux des Vosges; mais dans les départements du Nord, en Belgique, en Angleterre, en Écosse, les choses se passent tout autrement. Là les couches de combustible, nettement prononcées, paraissent s'étendre sur de grands espaces; et l'ensemble des faits, aussi bien que la superposition immédiate à des calcaires marins, qu'on retrouve dans toutes ces contrées, conduit à penser que ces dépôts aujourd'hui disloqués, séparés par les mers, ont jadis fait partie d'un même tout. Ce n'est plus dans des flaques d'eau, dans des lacs resserrés qu'ils ont pu se former; c'est dans une vaste mer qui, d'abord en partie comblée par des calcaires, est devenue sans doute une sorte de marécage, où se développaient des plantes marines, et où se rendaient en outre tous les débris d'une immense végétation établie sur ses bords et dans ses îles. Les mouvements ondulatoires ont peut-être alors stratifié les matières comme tous les autres dépôts de sédiment, § 85.

Certains dépôts de lignite sont évidemment formés de la même manière que la houille, dont ils présentent les allures; mais il en est d'autres qui offrent des amas de bois jetés pêle-mêle, plus ou moins bituminisés, conservant leur tissu, enfouis au hasard au milieu des dépôts sédimentaires, et rappelant ceux qui sont charriés par les grands fleuves, qui se déposent dans les lacs, ou qui sont transportés au milieu des mers, § 80.

Les débris de coquilles sont rares dans les dépôts de houille proprement dits. Il n'y en a de traces dans aucun des dépôts du centre de la France, et ce n'est que dans la grande formation qui comprend les départements du Nord, la Belgique, l'Angleterre, qu'on en a quelques exemples : il s'y trouve des coquilles marines, comme dans les environs de Liége et de Namur; mais on y cite aussi des coquilles d'eau douce analogues aux mulettes et aux anodontes, ce qui annonce des affluents d'eau continentale. Dans la plupart des

dépôts de lignite, on trouve, au contraire, un très grand nombre de coquilles fluviatiles, ce qui prouve que la formation de ces matières a eu lieu dans des lacs d'eau douce.

§ 104. **Dépôts adventifs divers.** — On remarque souvent, au milieu des terrains stratifiés, des matières diverses qui semblent s'être intercalées au milieu de celles qui ont été formées par la sédimentation générale. Certains dépôts se trouvent pénétrés çà et là de matières étrangères, tantôt disposées en concrétions plus ou moins volumineuses et en veines qui semblent avoir rempli des fissures, tantôt réparties uniformément dans toute la masse. Ailleurs, entre deux couches distinctes, se trouvent, par place, des dépôts différents limités dans tous les sens, en formant de grandes lentilles ou des amas plus ou moins volumineux. Ces circonstances indiquent nécessairement des précipitations locales, accidentelles, indépendantes de la sédimentation générale, et ne peuvent manquer de rappeler les effets des sources qui amènent tant de matières de l'intérieur du globe, et produisent des dépôts plus ou moins étendus à sa surface.

Il est probable que c'est par des sources silicifères analogues à celles de l'Islande et de Saint-Michel, § 62, 82, qu'est due la pénétration de certains sédiments par la silice, qui tantôt consolide quelques parties de leur étendue, comme dans les grès divers, § 142, tantôt y forme des rognons plus ou moins volumineux comme dans la craie, § 189, des veines plus ou moins nombreuses, quelquefois des amas considérables, comme la meulière du calcaire siliceux, § 194, ou celle des dépôts supérieurs, § 197. On est également conduit à penser que certains dépôts de gypse, comme ceux qui se trouvent aussi dans le calcaire siliceux, ont été de même produits sur place par les sources, qui sans doute amenaient en même temps toutes les matières terreuses qui les accompagnent. Il en doit être de même pour les gypses de plusieurs autres terrains, quoique dans certains cas cette substance ait été produite par une transformation sur place des calcaires existants, § 136, 139, 314.

Beaucoup de dépôts salifères, au milieu de leurs argiles, et accompagnés de gypse, ne peuvent manquer de rappeler le phénomène des salzes, § 61, ou, en général, celui des sources qui amènent à la fois des matières en suspension et des matières dissoutes, dont les eaux peuvent déboucher dans des lacs aussi bien qu'à la surface du sol desséché, et pénétrer par la force d'ascension dans toutes les fissures du terrain, à travers lequel elles se dégagent. Nous verrons d'ailleurs que dans certaines localités les dépôts de sel et de gypse sont en relation intime avec des phéno-

mènes ignés accompagnés sans doute d'émanations diverses, § 136, 214. C'est ce qui a eu lieu tout le long de la chaîne des Pyrénées, où l'on trouve entre autres les salines d'Anana, en Biscaye, au milieu d'un cratère de soulèvement dont le centre est occupé par l'ophite : une source salée considérable et très riche sort verticalement d'un puisard pratiqué dans cette roche.

Les dépôts de soufre des terrains calcaires, qui sont d'ailleurs accompagnés de gypse et d'argile, et souvent dans le voisinage des dépôts salifères, doivent encore avoir une origine analogue. Il en est de même des matières bitumineuses qui ont imprégné des sables et des calcaires, et aussi d'un assez grand nombre de dépôts de limonite des terrains calcaires, quoique ces matières aient pu être ensuite entraînées par les eaux courantes pour entrer dans la sédimentation générale. Enfin il y a beaucoup de circonstances où les dépôts ne peuvent s'expliquer que par des sources qui les ont formés autour d'elles, et en ont imprégné les roches préexistantes ou contemporaines.

Les filons sont aussi des dépôts adventifs ; mais ils sont produits par des injections de matières fondues, § 121, 135 à 140.

EFFETS DIVERS ATTRIBUABLES A DES SOULÈVEMENTS OU DES AFFAISSEMENTS.

§ 105. **Considérations générales.** — Quelle que soit la hauteur à laquelle nous puissions reconnaître des dépôts fluviatiles, il n'y a rien qui doive nous étonner ; car nous concevons parfaitement qu'à diverses époques il ait pu exister des lacs à tous les étages de nos continents, comme il s'en trouve encore aujourd'hui, et qu'après leur écoulement les dépôts soient restés à sec sur le terrain. Mais nous trouvons aussi des dépôts marins à toutes les hauteurs, en couches épaisses très étendues, et il n'est pas aussi facile de s'en rendre compte au premier moment. De tels dépôts n'ont pu évidemment se former que sous les eaux de la mer ; et puisqu'ils se trouvent à des milliers de mètres au-dessus du niveau actuel de l'Océan, il faut admettre de deux choses l'une : ou que les mers ont été élevées à une certaine époque au-dessus de ces points, et pendant assez de temps pour y former des couches puissantes, ou bien que ces dépôts, formés au-dessous du niveau actuel, ont été ensuite soulevés du fond des mers jusqu'à la hauteur où nous les trouvons aujourd'hui. Or, rien de ce que nous pouvons observer dans les phénomènes de l'époque actuelle ne nous autorise à penser que les mers aient pu se trouver autrefois à une pareille élévation

pendant un temps suffisant pour y former des dépôts considérables, puisque leur niveau n'a pas changé depuis les temps historiques, § 22 (1). Rien encore ne nous conduit à comprendre ce que le surplus des eaux au-dessus du niveau actuel, un volume beaucoup plus grand que ce qui reste aujourd'hui, § 9, pourrait être devenu, à moins d'admettre le concours de la volonté divine, qui dès lors se serait plu, dans les temps anciens, à faire apparaître ou disparaître ces eaux un assez grand nombre de fois, et à interrompre même les lois de leur équilibre. En effet, très souvent les dépôts coquilliers qu'on aperçoit çà et là à une grande hauteur ne se retrouvent pas sur les sommets correspondants, et se présentent, au contraire, à peu de distance, avec tous leurs caractères, à des milliers de mètres plus bas : dès lors il faudrait supposer que les eaux ont pu s'élever considérablement dans le premier de ces points, et rester basses dans l'autre, ce qui est absurde; ou bien admettre que les mêmes animaux pouvaient vivre aussi bien à la surface des eaux qu'à d'immenses profondeurs, ce qui est contraire à toutes les observations. Il ne nous reste donc de raisonnablement admissible que l'idée des soulèvements; idée appuyée du moins sur les faits positifs qui ont eu lieu de nos jours, et qui, sans doute, ne sont pas les seuls qui se soient manifestés à la surface du globe. Si les soulèvements ont pu exercer subitement leur action sur 200 lieues de côtes au Chili, § 20, en s'étendant au large jusqu'aux îles Juan-Fernandez, s'ils se font avec lenteur dans tout le golfe de Bothnie, dans la Suède et dans la Finlande, § 23, sur une surface qui n'est pas moins étendue, nous comprenons que de vastes contrées aient pu être également soulevées partout ailleurs et dans tous les temps. L'énorme masse liquéfiée qui forme l'intérieur du globe, oscillant d'un côté ou de l'autre sous sa mince écorce, a pu la bosseler dans tous les sens, et il n'en faut pas davantage pour pousser des continents hors des mers et en varier le faible relief de toutes les manières, § 8. Et qu'on ne s'effraie pas de ce que de tels effets paraissent avoir de gigantesque; c'est parce que nous les comparons à notre faiblesse que nous les jugeons ainsi, car ils ne sont rien relativement au globe lui-même. Que sont donc les 7 821 mètres de hauteur que présente

(1) Nous faisons abstraction du déluge universel, qui est indiqué dans les livres saints comme une catastrophe de très courte durée, et par conséquent incapable d'avoir produit les immenses dépôts que nous connaissons, que tout doit faire considérer comme formés lentement. Cette catastrophe d'ailleurs est moderne, et ne peut se rapporter qu'à la dernière modification de nos continents, § 254; or, tous les dépôts de coquilles dont nous voulons parler sont de beaucoup antérieurs, et dès lors n'ont aucun rapport avec les faits décrits par l'historien sacré. Voyez le détail des principaux soulèvements.

l'Himalaya, la plus haute montagne connue, et les 8 000 mètres de profondeur fournis par les plus forts sondages au milieu des mers, § 9, relativement à plus de 6 millions de mètres que présente le rayon moyen de la terre? Et cependant de telles éminences, ou de telles profondeurs, dont la somme ne produit que 2 millimètres de saillie sur 1 mètre, sont déjà des raretés sur notre globe, où les plus grandes inégalités ne sont pas même comparables aux petites cloques qui passent inaperçues sur les coulées de verre ou de métaux préparées dans nos usines. Si nous joignons à ces réflexions l'idée de l'immense force qui s'exerce souvent de l'intérieur de la terre à l'extérieur, § 53, rien ne nous étonnera dans les phénomènes qui se présentent à nous. Voyons cependant comment les faits justifient cette conséquence.

§ 106 **Dépôts coquilliers et plages soulevés.** — Ce qui caractérise les parties de terrain soulevées de nos jours au-dessus des mers, c'est la présence, à la surface des rochers mis à nu, de divers coquillages qui vivent ordinairement fixés à fleur d'eau, comme les balanes, les moules, etc., § 20; ou bien celle de quelque dépôt coquillier identique avec ceux qui se forment journellement au fond des mers voisines. Or, en examinant les collines qui bordent les côtes du Chili, on a trouvé sur les plateaux qui se succèdent en terrasses, et dont les bords sont parallèles aux rivages actuels, des coquilles semblables à celles qui ont été mises à sec sous nos yeux, et qui sont encore fixées aux rochers, ainsi que des dépôts coquilliers qui renferment les mêmes débris organiques que ceux qui se forment dans l'océan Pacifique. N'est-il pas de la plus grande probabilité que ces dépôts sont aussi les résultats de soulèvements successifs semblables à ceux qui se sont manifestés de 1822 à 1837? Cette conséquence est fortifiée par l'observation faite à l'île San-Lorenzo, près de Lima, où l'on a trouvé, à 30 mètres au-dessus de la mer, des dépôts semblables qui renfermaient des joncs tressés, des portions de fil de coton, etc. Ces objets artificiels attestent que les dépôts en question ont été formés depuis la présence de l'homme dans ces contrées; or, puisque le niveau des mers n'a pas changé depuis les temps historiques, il faut bien que ce soit par soulèvement qu'ils aient été mis au jour.

Les côtes de la Suède se soulèvent lentement, comme il a été établi par les observations les plus précises, § 23. Or, en creusant un canal près de Stockholm, on a trouvé au milieu des lits de sable, d'argile et de marne, remplis de coquilles semblables à celles qui vivent dans la Baltique, des débris de vaisseaux fort anciens. Donc toute cette contrée, jadis sous les eaux, et où sont

venus se perdre quelques bâtiments, a été soulevée depuis l'existence de l'homme, c'est-à-dire depuis que l'Océan est invariable. Il devient dès lors évident que le dépôt coquillier d'Uddewalla, à 70 mètres au-dessus de la mer, où l'on reconnaît encore les débris organiques de la Baltique, et où M. Brongniart a trouvé des balanes fixées aux rochers, comme sur la côte actuelle, est également un résultat de soulèvement. Nous devons en dire autant des dépôts analogues qu'on trouve sur les côtes de Norvége jusqu'en Laponie, et de beaucoup d'autres qu'on rencontre sur les côtes d'Angleterre, dans les îles du Grand-Océan, etc. Mais voici d'autres faits.

Sur la côte de Pouzzoles on voit, à 7 mètres au-dessus de la mer, des dépôts de coquilles semblables à celles qui vivent encore dans la Méditerranée, dans lesquelles se trouvent des débris de poteries et des fragments de sculptures; or, nous savons que le niveau de cette mer n'a pas changé depuis les Phéniciens, par conséquent c'est un soulèvement effectué depuis l'apparition de l'homme qui a mis ces collines au jour. En Sardaigne il existe des dépôts semblables, mais plus élevés, où M. de La Marmora a trouvé des traces d'une industrie naissante, et qui renferment en outre des coquilles fluviatiles et terrestres. Il y a plus, il existe dans les mêmes contrées des collines qui atteignent jusqu'à 700 mètres de hauteur, où l'on ne trouve plus, à la vérité, de débris de l'industrie humaine, mais où l'on rencontre encore les mêmes coquilles méditerranéennes que dans les premières, et quelquefois même avec leur couleur. Ce fait conduit forcément à admettre encore que ces dépôts ont été soulevés du sein des eaux, tout aussi bien que les autres, et seulement à une époque antérieure à l'homme dans la contrée. Il faut attribuer la même origine à beaucoup d'autres dépôts analogues qu'on trouve sur les côtes de Sicile, de Sardaigne, des États-Romains, de la Toscane, de Nice, de France et d'Espagne. La même conséquence s'applique à ce qu'on observe sur les côtes de l'Océan, en France, en Angleterre, aux Antilles, à Timor, à la Nouvelle-Hollande et dans plusieurs îles de la mer du Sud. On y reconnaît des plages de sable à diverses hauteurs, des dépôts calcarifères, des calcaires même, remplis de coquilles marines semblables à celles qui vivent dans les mers voisines, des huîtres et des balanes fixées aux rochers, enfin des bancs de polypiers, § 88, identiques avec ceux de nos jours, et le tout élevé plus ou moins au-dessus du niveau des mers.

Lorsqu'à l'intérieur des terres on trouve sur le flanc des montagnes, et sur les escarpements, des sillons allongés, des creux,

des excavations qui forment des lignes horizontales, il est évident que ce sont d'anciens rivages sur lesquels la mer venait battre en exerçant ses dégradations comme aujourd'hui, et qui ont été soulevés à la hauteur où nous les voyons. C'est ce qu'attestent encore les débris roulés de toute espèce, minéraux, ossements d'animaux, coquilles, madrépores, qu'on trouve quelquefois alors au pied des escarpements, aussi bien que les trous plus ou moins nombreux renfermant encore les coquilles des mollusques saxicaves qui les ont formés. On trouve assez fréquemment ces divers indices sur les montagnes calcaires de la Bourgogne méridionale, de la Franche-Comté, du Bas-Dauphiné, de la Provence, etc.

§ 107. **Temple de Sérapis.** — C'est à des événements du même genre que se rapporte le phénomène du temple de Sérapis, sur la côte de Pouzzoles, qui a donné lieu à tant de controverses parmi les géologues. Il ne reste de cet antique monument que trois colonnes de marbre, debout sur un sol qui est à peu près au niveau de la mer, fig. 107. Or, d'une part, il n'est guère vraisemblable que ce temple, d'ailleurs construit avec un grand luxe d'architecture, ait été placé de manière que le sol en fût constamment couvert d'eau, pas plus qu'il n'est probable que la voie antique de Baja, les édifices élevés par Agrippa, plusieurs autres antiquités qui se trouvent aujourd'hui en tout ou en partie sous les eaux, aient été construits dans cette position. D'un autre côté, les trois colonnes qui restent debout présentent, à partir de 3 mètres au-dessus du pavé, et sur une hauteur de 2 mètres, une zone perforée par des coquilles lithophages, ce qui n'a pu avoir lieu que sous les mers. Ainsi ce temple, certainement construit sur un endroit constamment à sec, à quelque hauteur que ce soit, s'est trouvé plus tard sous les eaux jusqu'à 5 mètres, et de nouveau a été remis au niveau de la mer. Or, puisque la Méditerranée n'a pas changé de niveau, c'est aux oscillations du sol

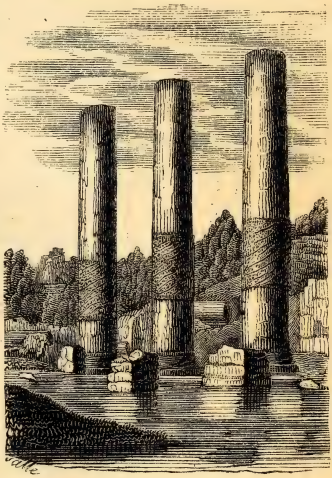


Fig. 107. *Temple de Serapis.*

qu'on peut uniquement rapporter ce phénomène. Il est probable que le terrain s'est trouvé d'abord à une certaine hauteur au-dessus de la mer, et que c'est alors que toutes les antiquités dont nous voyons les restes ont été construites ; que plus tard il s'est fait un affaissement dont nous ignorons la valeur, et qu'enfin un soulèvement de 5 mètres, qui a été jusqu'à 7 en quelques points, a remis le temple à sec en laissant les autres édifices en partie submergés; ce qui prouve que l'affaissement avait été plus fort et plus étendu que le dernier soulèvement.

§ 108. **Conclusion des faits.** — En reconnaissant ainsi que des dépôts très étendus, formés de coquilles qui vivent actuellement dans nos mers, ont été évidemment soulevés à des hauteurs plus ou moins considérables, ne devient-il pas infiniment probable qu'il en a été de même de tous les autres? Pourquoi, en effet, n'en serait-il pas ainsi des terrains des environs de Londres et de Paris, de ceux des plaines de la Gascogne, de l'Autriche, de la Hongrie, de la Pologne, etc.? A la vérité, les coquilles qu'on y trouve ne sont pas toutes analogues à celles qui vivent dans nos mers : mais il y en existe encore en quantité notable, § 193 à 203, et de plus leur conservation est telle en plusieurs points qu'elles semblent avoir été tout fraîchement enfouies. Et si l'on admet le fait de soulèvement pour ces dépôts, pourra-t-on le refuser à la craie qui les enveloppe de toutes parts, § 189 à 192, puis aux calcaires jurassiques qui les avaient précédés, formant non seulement le Jura, mais la plus grande partie des montagnes calcaires de la France, § 172 à 184, et enfin à tous les dépôts coquilliers dont les débris organiques attestent l'origine sous-marine? En preuve de cette extension du phénomène, nous allons bientôt citer toutes les dislocations qui en sont nécessairement la suite.

§ 109. **Affaissements de divers dépôts anciens.** S'il est clairement établi que de nos jours il s'est fait à la surface du globe des affaissements aussi bien que des soulèvements, § 20 à 24, l'observation montre évidemment aussi qu'il s'en est fait également à toutes les époques dans la série des dépôts divers qui constituent nos continents. Donnons-en quelques exemples.

On observe sur plusieurs points des côtes de France et d'Angleterre, à marée basse, des dépôts très étendus de végétaux semblables à ceux qui vivent dans nos climats, et que tout annonce être encore à la place où ils ont vécu ; d'autant plus qu'on y voit des arbres debout et des racines fixées au sol. Ces dépôts reposent sur des matières terreuses jonchées de feuilles entassées les unes sur les autres, et sont recouverts par des argiles remplis

de coquilles d'eau douce ; ils renferment des bouleaux, des noisetiers, des chênes, des sapins, des débris de diverses espèces de cerfs, comme les tourbières. Or ces forêts sous-marines, ainsi qu'on les a nommées, n'ont pu végéter que sur un sol découvert, plus ou moins élevé au-dessus des mers ; et comme elles se trouvent aujourd'hui placées au-dessous, et ne sont découvertes que dans les grandes marées, il faut bien que le terrain se soit affaissé depuis l'époque de la végétation actuelle.

La *couche de boue* de Portland, § 95, qui renferme des arbres encore en place, atteste l'existence d'un sol végétal, d'un terrain à peu près à sec, qui reposait sur des dépôts marins. Cette couche a été ensuite recouverte par des dépôts de calcaire lacustre très puissant, et le tout passe sous les grès verts qui préludent à la craie, § 188, et qui sont de formation marine. Il est donc clair qu'il y a eu dans ces lieux un certain soulèvement des calcaires marins inférieurs, sur lesquels s'est établie une végétation terrestre ; qu'il s'est fait ensuite un lac, ou un estuaire profond, dans lequel se sont formées des couches de calcaire, de sable et d'argile remplies de coquilles fluviatiles, dont l'ensemble atteint parfois une épaisseur de 200 à 300 mètres. Plus tard même tout ce terrain s'est recouvert de dépôts marins, de grès vert et de craie, qui dans certains points ont eux-mêmes une épaisseur encore plus grande. Enfin il faut qu'un dernier soulèvement ait remonté le tout au niveau que nous observons aujourd'hui.

Tous les détails dans lesquels nous entrerons successivement nous feront connaître des faits du même genre, même sur de grandes étendues et avec des circonstances beaucoup plus remarquables encore que celles qui viennent d'être indiquées, § 113 à 120, 220 à 252 ; mais nous citerons encore un exemple frappant de ces oscillations du sol, et il nous sera fourni par les *empreintes de pieds et de pas de certains quadrupèdes*, fig. 108, qu'on a trouvés

Fig. 108. *Empreintes de pieds de quadrupèdes.*

à Hessberg, près de Hildburghausen en Saxe, sur les faces de séparation de certaines couches de grès, et celles *de pieds d'oiseaux divers*, fig. 109, qu'on a observées dans la vallée du Connecticut, aux États-Unis d'Amérique, dans des dépôts de même nature. Ces empreintes de pas attestent que le terrain conservait une certaine mollesse, quoiqu'il fût en partie desséché, ce qui est mis en évidence par les rides qu'il présente, et que par conséquent il fût hors de l'eau; or la couche sédimentaire où ces animaux ont ainsi marché se trouve aujourd'hui recouverte par une autre qui s'est modelée sur leurs traces, puis par des dépôts considérables des mêmes matières qui n'ont pu se former que sous les eaux: donc il a fallu que le terrain, d'abord soulevé pour que des animaux terrestres pussent y marcher, s'affaissât successivement ensuite pour recevoir toutes ces matières de sédiment, et qu'en définitive il ait été de nouveau relevé pour arriver au point où nous le voyons aujourd'hui.

Fig. 109. *Empreintes de pieds d'oiseaux.*

§ 110. **Affaissement de la Caspienne, cratères d'effondrement.** — En voyant clairement, par les faits modernes, § 20 à 24, et par les phénomènes que présentent les dépôts anciens dont nous venons de parler, qu'il s'est fait de tout temps des affaissements à la surface du globe aussi bien que des soulèvements, nous sommes naturellement conduits à expliquer de même différents faits qui ne sont pas moins remarquables. Si le niveau de la Caspienne et de toute la contrée environnante se trouve aujourd'hui au-dessous de l'Océan, § 16, nous sommes portés à croire que c'est par l'effet d'un affaissement du sol, qui se trouve en relation avec le soulèvement des hautes cimes volcaniques qui forment le centre de l'Asie. Il en a été probablement ici comme de la formation du grand lac Mitsou-Oumi, dans l'île de Nifon, qui eut lieu dans une nuit en l'an 286 avant notre ère, au moment où le Fousi-no-yama, la plus haute montagne du Japon, s'éleva du sein de la terre. Quelque chose d'analogue s'est passé sans doute au lac de Judée, qui se trouve aussi plus bas que la Méditerranée, et qui est entouré de montagnes trachytiques, dont l'apparition fut peut-être la cause

médiate du grand châtiment infligé aux villes coupables que renfermaient ces contrées.

Nous trouvons sur une plus petite échelle beaucoup d'autres effets qui ne peuvent guère s'expliquer aussi que par des effondrements : tel est, par exemple, le cas du *val del Bove*, sur la pente orientale de l'Etna. Cette vaste excavation, fig. 23 et 24, offre tous les caractères d'un cratère de soulèvement, tant par l'inclinaison des nappes de laves anciennes qu'elle présente, que par les crevasses qui découpent ses bords, surtout à la partie inférieure ; mais son étendue amène naturellement la question de savoir ce que sont devenues les matières qui en occupaient le centre. Or, ici comme en beaucoup d'autres lieux, on ne peut s'en rendre convenablement raison que par un effondrement, § 37, qu'on peut même motiver sur quelques témoins encore saillants au milieu des remblais qui se sont formés plus tard. Une circonstance tout-à-fait analogue se présente dans le *val Taoro* décrit par M. de Buch, et qui se trouve placé au pied du pic de Ténériffe comme le val del Bove l'est au pied de l'Etna.

§ 111. **Cratères-lacs.** — C'est à des effondrements qu'on peut rapporter la formation de certains lacs profonds, et en forme d'entonnoir, qui n'offrent plus le caractère des cratères de soulèvement, mais qui présentent plutôt ceux des *fontis* qu'on voit se former au milieu des terrains meubles placés au-dessus de quelque excavation. Tels sont le *lac Paven*, au pied des masses trachytiques du Mont-Dore, en Auvergne ; plusieurs lacs des Vosges, au milieu des granites et des porphyres ; enfin les lacs qui couvrent le plateau de l'Eiffel, et qu'on a désignés fréquemment sous le nom de *cratères-lacs*. Ces derniers ont cela de particulier qu'ils se sont formés à fleur du sol au milieu des terrains schisteux dont les couches sont restées en place, ou plutôt même se sont quelquefois affaissées vers le centre de la cavité. On ne peut évidemment expliquer ces dispositions particulières que par des effondrements, qui ont même quelquefois communiqué assez profondément à l'intérieur de la terre pour donner passage à des scories. On en trouve en effet d'éparses sur les bords de plusieurs de ces ouvertures et jusqu'à des distances plus ou moins grandes : c'est ce qu'on voit autour de plusieurs des cratères de l'Eiffel, creusés au milieu des schistes ; autour du *Gouhr de Tazana*, creusé au milieu des granites, sur les confins de l'Auvergne et du Bourbonnais, etc.

Quelque étonnants que puissent paraître ces effondrements, ils n'ont rien de plus extraordinaire que ceux qui se sont formés pendant les tremblements de terre de la Calabre, § 19, que ceux qui

ont eu lieu à Saint-Michel-des-Açores, à l'ancienne Césarée de Cappadoce, § 38, que tous ceux du même genre qu'on trouve dans les chroniques diverses. Les affaissements du pic des Moluques, du Carguaraizo, du Papandayan, etc., nous montrent assez ce qui peut arriver dans le cours naturel des choses pour faire comprendre les effets qui peuvent avoir été produits dans les différentes phases de notre planète.

§ 112. **Restes d'anciens continents.** — Remarquons encore que si un grand nombre d'îles, dans les mers du Sud, paraissent dues à des recifs madréporiques, § 87, que des soulèvements ont portés ensuite à une hauteur plus ou moins considérable au-dessus des mers, il en est d'autres qu'on est tenté de considérer comme des restes d'anciens continents, dont la plus grande partie se serait affaissée sous les eaux. Ce sont celles où vivent aujourd'hui cantonnés un certain nombre d'animaux particuliers qu'on ne retrouve pas ailleurs, et qu'on ne sait dès lors d'où faire venir en admettant des soulèvements, ni comment faire passer d'une île dans l'autre lorsqu'ils sont communs à plusieurs. L'hypothèse d'affaissement laisse peut-être moins de difficultés, car ces êtres spéciaux seraient alors les restes de la faune qui existait sur ces continents avant qu'ils fussent en partie détruits. Cette manière de voir, qui est admise aujourd'hui par plusieurs naturalistes, n'a rien de contraire aux observations géologiques, et pourrait même s'appuyer sur beaucoup d'entre elles; mais il reste à connaître comment elle s'accorde avec les faits locaux, et c'est aux observations futures à nous l'apprendre.

REDRESSEMENTS ET DISLOCATIONS ATTRIBUÉS A DES SOULÈVEMENTS.

§ 113. **Pourquoi il faut supposer des redressements.** — Nous avons fait voir que les dépôts arénacés et les dépôts coquilliers qui se forment sous les eaux, sont toujours en couches sensiblement horizontales, § 79 à 85. Nous les trouvons fréquemment disposés de la même manière à la surface du globe, même sur de très grands espaces, et nous remarquons alors que les galets aplatis, les valves d'huîtres ou d'autres coquilles disloquées, sont déposés à plat, et que les coquilles turriculées sont généralement couchées sur leurs longueurs; toutes circonstances qui s'accordent parfaitement avec les idées de formation lente par des matières livrées à la seule action de la pesanteur. Cependant il arrive souvent aussi que nous voyons ces dépôts en couches plus ou moins inclinées dans certaines parties de leur étendue, redressées même jusqu'à la verti-

cale, et quelquefois entièrement renversées ; néanmoins on y reconnaît encore tous les caractères qui démontrent leur horizontalité primitive, car les débris de coquilles et les galets qui y sont renfermés se trouvent encore disposés parallèlement aux plans des couches. Il y a plus : il existe des dépôts qui renferment des géodes d'agates dans lesquelles on voit des stalactites dont l'axe est plus ou moins incliné, fig. 110, ce qui est directement opposé à la manière dont se produisent ces sortes de configurations (voyez *Minéralogie*). Il résulte de là que les dépôts divers ne se sont pas formés en couches redressées comme nous les voyons aujourd'hui : car, d'un côté, les débris de coquilles et les galets auraient culbuté pour se placer en équilibre stable, ou rouler au pied des talus ; de l'autre, les stalactites se seraient formées suivant la verticale. Cette dernière observation, surtout, nous montre évidemment que les couches étaient d'abord horizontales, fig. 111, et qu'elles ont été dérangées de cette position naturelle postérieurement à leur formation ; c'est là un des grands phénomènes géologiques dont nous avons à rechercher la cause.

Fig. 110.

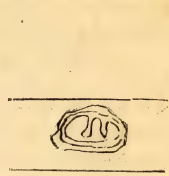


Fig. 111.

§ 114. Pour nous guider dans cette étude, nous avons, comme point de comparaison, les effets produits pendant les tremblements de terre, et ceux qui résultent des phénomènes volcaniques. D'un côté, les crevasses qui se forment alors dans le sol, jusqu'à une profondeur plus ou moins considérable, ne peuvent être évidemment que l'effet d'un soulèvement ; car l'écartement des parties ne résulte ici ni du desséchement ni du refroidissement qui auraient pu produire de tels retraits dans la masse. Aussi remarque-t-on, dans le voisinage des fentes, que le sol ne se trouve plus sur le même plan que le reste de la contrée, qui est alors plus ou moins bombé, et que souvent une des parties est plus élevée que l'autre, § 19. Or, pour que le sol ait été soulevé, il faut bien que les couches intérieures aient été dérangées de leur position ; par conséquent, lorsque, dans un terrain à couches horizontales, il se fait une fente en ligne droite comme fig. 9, il faut que les couches se trouvent inclinées de part et d'autre sur toute sa longueur, comme les deux pentes d'un toit. Lorsqu'il se fait plusieurs fentes divergentes, comme fig. 10, les lambeaux de terrain doivent s'incliner symétriquement autour de l'axe de soulèvement.

Nous avons aussi, d'un autre côté, les phénomènes que présente

le Monte-Nuovo, d'abord soulevé, puis crevé au sommet, et nous montrant aujourd'hui, relevés autour de son axe, tous les dépôts qui se trouvent en couches horizontales dans le reste de la Campanie. Enfin, sur une plus grande échelle, nous avons les couches relevées autour du centre d'action de Santorin, et tous les faits du même genre que nous voyons dans un grand nombre de lieux où l'action volcanique se manifeste encore de nos jours. §§ 28, 33, 36.

Maintenant, si nous trouvons que toutes les couches inclinées que nous observons à la surface du globe peuvent être rapportées à l'une ou à l'autre de ces dispositions, nous serons en droit de conclure qu'elles ont été relevées par les mêmes causes; or, c'est précisément ce que nous allons reconnaître partout.

§ 115. **Failles.** — Nous avons vu que quand il se fait une crevasse il arrive souvent, § 19, que l'une des parties du terrain se trouve plus élevée que l'autre, tant lorsque la fente demeure ouverte, fig. 12, que quand elle se referme subitement, fig. 13. Or les mêmes dispositions se présentent très fréquemment à la surface du globe, et il est à présumer qu'elles ont été produites par une circonstance semblable, par un soulèvement. Les couches sont alors inclinées de part et d'autre, fig. 112, et l'une des parties se trouve plus ou moins élevée au-dessus de celle qui lui est adjacente; à la jonction on distingue quelquefois, par les travaux souterrains, soit une fente ouverte, ou remplie postérieurement de gravier, soit une fissure légère, ou tout au moins une surface de séparation, dont les plans sont lisses, et quelquefois polis ou striés verticalement, ce qui annonce une crevasse fermée; un glissement d'une partie sur l'autre. Ces dispositions ont été désignées sous le nom de *failles*, de l'allemand *fall*, chute, affaissement, parce que l'une des parties se trouve plus basse que l'autre; elles se manifestent dans toute espèce de terrain, et présentent alors des crêtes qui s'étendent sur de très grands espaces, à peu près en ligne droite, quelquefois interrompues çà et là, mais dont les différentes parties se trouvent dans la même direction. Il en résulte des croupes de montagnes plus ou moins élevées, assez communes à la surface de la terre, et dont les Vosges, le Jura, les Alpes, les Cévennes, etc., nous offrent un grand nombre d'exemples.

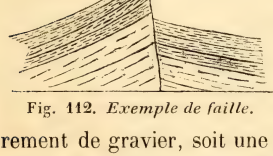


Fig. 112. *Exemple de faille.*

Si les failles se manifestent à la surface du sol par des crêtes plus ou moins relevées, on les reconnaît aussi à l'intérieur de la terre par les dérangements qu'elles ont occasionnés dans les cou-

ches, ou les filons, qu'on exploite pour les besoins des arts. C'est ainsi, par exemple, que dans les houillères une même couche de combustible, *a*, *b*, *c*, fig. 113, se trouve quelquefois tellement dérangée çà et là de sa position, que le mineur, après l'avoir exploitée sur une partie de sa direction, de *d* en *c*, par exemple, la voit tout-à-coup finir. Il abandonnerait évidemment tous les travaux si l'expérience ne lui avait appris qu'en suivant la faille il retrouvera le dépôt soit au-dessus, soit au-dessous du point où il s'est trouvé subitement arrêté.

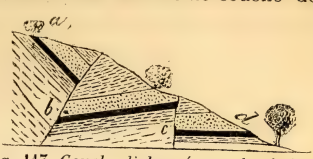


Fig. 113. *Couche disloquée par des failles.*

Quelquefois il est aussi résulté de ce dérangement des couches, de funestes erreurs pour les spéculations. Voyant, par exemple, à la surface du terrain divers affleurements de matière exploitable, *a*, *b*, *c*, *d*, fig. 114, on en a conclu la présence d'autant de couches

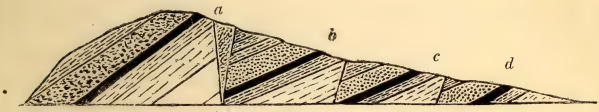


Fig. 114. *Dislocation donnant à une seule couche l'apparence de plusieurs.*

différentes, et par conséquent une grande apparence de richesses, pour lesquelles on pouvait faire toutes les avances possibles, lorsqu'en réalité ce n'était que la même couche, disloquée et remontée à différents niveaux par des failles successives.

§ 116 **Disposition cratériforme.** — La formation connue du Monte-Nuovo, en nous faisant comprendre le relèvement des couches que présente sa cavité cratériforme, § 28, 36, nous conduit à attribuer aussi à des soulèvements, dont les époques sont inconnues, la structure de plusieurs autres buttes de la même contrée, telles que celles de la Solfatare de Pouzzoles, de Camaldoli, d'Astronis, etc., où les couches sont toutes relevées vers l'axe de l'excavation qu'on trouve au centre. Dans ces buttes, le fond de la cavité, surtout à Astroni, fig. 115, présente la pointe d'un dôme trachytique, qui

Fig. 115. *Disposition cratériforme avec butte de trachyte au centre.*

sans doute, en se soulevant comme à Santorin, a produit le relèvement des couches du tuf ponceux environnant. Ces buttes à cratères expliquent immédiatement toutes celles des Champs-Phlégréens, qui sont pleines au sommet, mais dont toutes les couches se relèvent également autour d'un axe, fig. 116; probablement il se trouve aussi à leur base quelque pointe de cône qui ne s'est pas élevé avec assez de force pour crever le sommet. Ce qu'il est important de remarquer, c'est que ces buttes isolées se trouvent généralement alignées par files dirigées toutes de la même manière; ce qui semble indiquer des crevasses sur la direction desquelles, comme nous l'avons vu dans les volcans brûlants, § 47, les matières fondues tendaient à sortir.

Fig. 116. *Butte à couches relevées vers le sommet.*

Nous trouvons en beaucoup de lieux des circonstances tout-à-fait semblables sur une plus grande échelle. Dans le Cantal et le Mont-Dore, des *nappes* basaltiques et trachytiques (voyez *Minéralogie*), qui ne peuvent avoir été déposées que sur un sol horizontal, § 48, se trouvent maintenant relevées autour d'un ou de plusieurs centres, laissant vers leur point de convergence un bassin cratériforme plus ou moins étendu, ou se dressant autour d'un dôme trachytique plus ou moins saillant, fig. 117, comme le pic de Ténériffe au-dessus des escarpements qui l'entourent. Des masses granitiques, comme au hameau du Pal près de Montpezat en Vivarais, présentent également des cirques au milieu desquels s'élèvent des buttes de basalte ou de scories dont l'apparition a sans doute suivi la première explosion, comme au Monte-Nuovo et à l'île Saint-Georges, § 28. Le bassin de Schemnitz, en Hongrie, n'est aussi qu'un vaste cratère de soulèvement, à peu près libre, n'ayant qu'une butte basaltique au centre, et dont le pourtour est en grande partie formé par des couches de porphyre vert qui sont relevées de toutes parts. D'autres porphyres forment de même un cirque, dont les sommets sont couverts de neige, autour de l'Elburz, le pic trachytique le plus élevé du Caucase. Dans tous ces cas, la masse de l'enceinte circulaire se trouve coupée par des vallées profondes, résultat corrélatif du soulèvement, et qui rappellent inévitablement les barancos de Palma, § 36; ces ruptures, en un mot, présen-

Fig. 117. *Nappes redressées autour d'un dôme trachytique.*

tent tous les caractères que nous avons indiqués dans les cratères de soulèvement.

§ 117. — Mais ce n'est pas seulement dans les contrées qui présentent des basaltes, des trachytes, des scories et des ponces, que ces dispositions cratériformes se manifestent ; elles ne sont pas moins communes dans beaucoup de localités où la nature des roches ne rappelle en rien les volcans ordinaires. Et d'abord, au milieu des Alpes, on voit des calcaires, des schistes, diverses sortes de roches, former, par leurs couches relevées, un vaste cirque au milieu duquel s'élève le Mont-Blanc, à peu près comme le pic de Ténériffe dans son enceinte basaltique. Plus loin, à l'ouest, dans l'Oisans, le cirque qui entoure le hameau de la Bérarde, et qui a été si bien décrit par M. Élie de Beaumont, présente, par la disposition de ses couches de gneiss relevées (*Minéralogie*), par ses crevasses au pourtour, par l'unique vallée qui y donne entrée, les caractères les plus positifs qu'on puisse observer dans les cratères de soulèvement. Les cirques qui se trouvent dans le haut de la plupart des grandes vallées des Alpes offrent encore des circonstances semblables ; c'est-à-dire qu'on y voit des couches relevées de toutes parts vers leurs centres, mais quelquefois interrompues, comme au pied du Mont-Rose, par des roches massives où la stratification disparaît, § 85. Partout, au milieu des granites ou des porphyres divers, on rencontre des cirques analogues, dont les parois escarpées sont découpées par des vallées plus ou moins profondes, dont le centre est occupé par un lac, et où les rivières prennent leurs sources ; c'est ce qu'on voit dans les Vosges au pied des ballons, dans le Morvan, dans les montagnes de Tarare, etc. Quelquefois des buttes de porphyre noir, ou mélaphyre, se trouvent ainsi au milieu d'un bassin autour duquel les couches de matière schisteuse et de grès houiller se trouvent relevées, comme on le voit à Bitscheviller dans les Vosges, etc.

§ 118. **Même disposition dans les terrains calcaires.** — Les contrées calcaires nous présentent tout aussi bien que les autres ces sortes d'accidents ; seulement les cavités cratériformes, au lieu d'être à peu près circulaires, comme celles que nous avons indiquées jusqu'ici, sont le plus souvent allongées et très irrégulières, comme on le voit surtout dans les montagnes du Jura. Ce sont, en général, des effets produits en longueur, comme les fentes, qui s'étendent quelquefois à de très grandes distances, et ont formé sur leur direction des buttes allongées, alignées entre elles, offrant çà et là des sommets plus saillants. Ces sommets sont le plus souvent déchirés et présentent ce qu'on a nommé des *vallées fermées* ou des

vallées d'élévation, fig. 118, qui, en définitive, ne sont que des cratères de soulèvement.

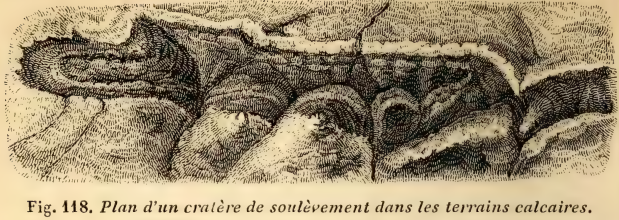


Fig. 118. *Plan d'un cratère de soulèvement dans les terrains calcaires.*

Il n'est pas inutile de remarquer que les déchirements des montagnes calcaires ne présentent pas toujours l'uniformité cratériforme que nous avons jusqu'ici indiquée, et qu'il y a à cet égard un grand nombre de variations. D'une part, il arrive que sur l'un des côtés les couches déchirées sont restées en arrière, tandis que sur l'autre elles ont été soulevées : le déchirement se présente alors dans la coupe transversale, comme fig. 119. Ailleurs, les couches supérieures se sont comme retirées dans le sens horizontal, et, les couches inférieures se bombant sans se fracturer, il en est résulté des dispositions comme fig. 120. Souvent, parmi les couches soulevées, il s'en trouve qui se désagrègent très facilement et dont la saillie se trouve bientôt culbutée, entraînant la chute des couches solides ; il en résulte alors des crêtes de roches parallèles les unes avec les autres, séparées par de petites vallées souvent fermées, où se rendent les eaux pluviales, et qui se couvrent alors de végétation : la crête générale de la montagne se présente alors dans la coupe, comme fig. 121. Quelquefois aussi le sommet ne présente plus qu'une masse de blocs calcaires entassés les uns sur les autres, mais qui se trouvent disposés en

Fig. 119.

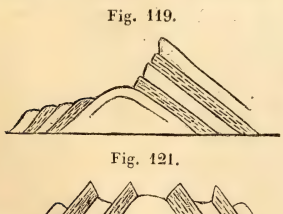


Fig. 120.

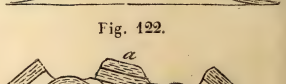


Fig. 121.

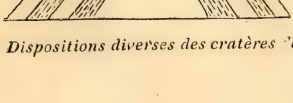
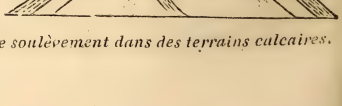


Fig. 122.



Dispositions diverses des cratères de soulèvement dans des terrains calcaires.

lignes comme si on les avait réunis par nature de pierre. Enfin remarquons que quand il s'est formé deux soulèvements parallèles, comme fig. 122, il arrive quelquefois qu'une portion *a* du terrain s'est trouvée emportée, et qu'elle forme alors le point culminant de tout le massif, en présentant l'apparence d'une répétition de certaines couches dans le même dépôt.

La partie centrale d'une masse de terrain au milieu de laquelle s'est fait un déchirement ne présente le plus souvent qu'une des couches sédimentaires plus ou moins bombée; c'est ce qui a lieu le plus ordinairement dans les terrains calcaires que nous venons de citer. Mais il arrive quelquefois aussi qu'il apparaît au centre des roches tout-à-fait différentes de celles des couches de sédiment, des matières en masse d'une nature ou d'une autre. Nous en avons déjà des exemples dans les Champs-Phlégréens par les buttes trachytiques qui se trouvent au fond des cratères de soulèvement formés au milieu des couches sédimentaires d'agglomérats ponceux, fig. 117. Nous en avons aussi dans les Alpes, comme dans beaucoup d'autres contrées, où nous voyons des masses granitiques, § 212 *a*, et beaucoup d'autres roches cristallines, au centre de divers dépôts sédimentaires dont les couches ont été redressées par leur apparition. Nous apprécierons plus tard la valeur de ces faits.

§ 119. **Relèvement et contournement sans dislocation.** — Si le redressement des couches est souvent accompagné de ruptures, il arrive fréquemment aussi qu'il se fait sans aucune dislocation apparente. Nous l'avons déjà remarqué dans les monticules isolés des Champs-Phlégréens, fig. 116, et on le voit également sur des longueurs plus ou moins considérables qui présentent alors des côtes plus ou moins saillantes, ou des *lignes anticlinales*, suivant une expression reçue, formées par des couches relevées de part et d'autre comme les deux pentes d'un toit : cette circonstance présente encore des effets comparables à ceux qu'occasionnent les fentes, mais produits alors sur des couches susceptibles d'un certain degré de flexibilité, comme les matières placées au centre des figures précédentes. Les montagnes du Jura nous en offrent un grand nombre d'exemples ; on y voit souvent diverses crêtes parallèles de ce genre, que les plus simples cartes indiquent très clairement, et qui laissent entre elles des vallées plus ou moins larges, sur les deux pentes desquelles les couches se trouvent relevées. Il en résulte de grandes ondulations de couches, qu'on remarque surtout dans les escarpements produits par les divers déchirements, ou *cluses*, qui coupent transversalement les crêtes en un grand nombre de lieux. Ces ondula-

tions en grand, qui sont représentées fig. 123, ne sont interrompues que par les déchirements cratériformes des sommets, comme en *a*, que nous avons indiqués précédemment.

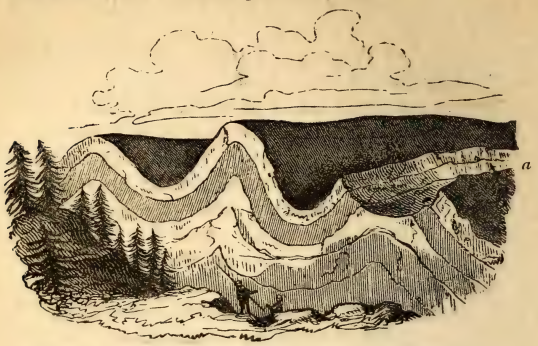


Fig. 123. *Contournements du Jura. Vallecs de plissement.*

§ 120. **Plissement des couches schisteuses.** — Les contournements se font aussi remarquer dans d'autres circonstances, où il semble que les couches, à un certain état de flexibilité, ou peut-être à l'état pâteux, ont été plutôt comprimées en deux sens opposés que soulevées. C'est, en effet, l'idée à laquelle on est naturellement conduit par certains faits qu'on observe dans les dépôts de matière à structure schisteuse. Souvent il arrive que les feuillets de ces dépôts, au lieu de se continuer sur un même plan, horizontal ou incliné, se trouvent tous extrêmement contournés sans cesser d'être parallèles, ou repliés sur eux-mêmes en zigzags plus ou moins aigus, fig. 124. L'idée de la cause d'un tel plissement a été

Fig. 124. *Contournement des schistes.*

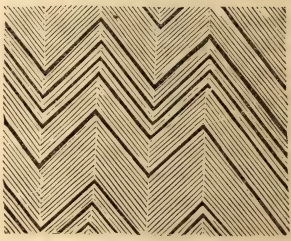


Fig. 125. *Contournement des houilles.*

vérifiée jadis par sir James Hall, qui, après avoir placé les unes sur les autres des galettes d'argile humectée, et les avoir chargées

d'un certain poids, imagina d'en comprimer latéralement l'ensemble. Toutes les couches se replièrent à la fois, comme il l'avait pensé, et prirent une disposition tout-à-fait semblable à celle des dépôts schisteux qu'il avait observés. Le même effet s'obtient avec des feuilles de carton mince détrempées suffisamment, et qui ont l'avantage de conserver en se desséchant la forme qu'elles ont prise pendant l'expérience.

On observe fréquemment dans les terrains houillers des circonstances complétement analogues : toutes les couches de ces dépôts, tant argileuses que combustibles, se trouvent repliées à la fois, et souvent sous des angles vifs, comme fig. 125. C'est ce qu'on observe surtout d'une manière très remarquable dans les houillères des environs de Mons en Belgique.

Maintenant, comment ces compressions ont-elles eu lieu? C'est ce qu'il faudrait en quelque sorte expliquer pour chaque localité ; mais on conçoit que, dans un dépôt à couches inclinées dont la masse est poussée de bas en haut, la partie supérieure presse de tout son poids sur la partie inférieure, et que les couches de celle-ci, placée dès lors entre deux forces opposées, peuvent se replier sur elles-mêmes si elles sont assez flexibles. D'un autre côté, comme des matières en fusion se sont souvent introduites de vive force dans les dépôts de sédiment, on conçoit qu'il en soit résulté des compressions latérales qui ont produit les mêmes effets.

§ 121. **Origine des vallées.** — Si les montagnes ne sont que les résultats des dislocations qui ont eu lieu à la surface du globe, les vallées ne peuvent plus nous offrir aucune difficulté. Les premières idées qu'on s'est faites sur leur origine ont eu pour base le creusement par l'action érosive des eaux : mais alors, les montagnes devant être préalablement formées, il est clair que les eaux auraient toujours dû suivre la pente naturelle du sol, et le sillonner uniquement dans ce sens ; lorsqu'elles se trouvaient arrêtées par un obstacle, ou dans un bassin, elles auraient dû couper préférablement les dépôts de sables et de graviers, ou se déverser par le point le plus bas. Or nous voyons précisément le contraire de ces actions naturelles : les vallées ne suivent pas, en général, la pente réelle du terrain ; ce n'est pas par la partie la plus basse des bassins que les eaux se sont généralement déversées, ni à travers les terrains meubles qu'elles se sont fait un passage. On ne voit pas, en effet, pourquoi la Meuse ne vient pas se jeter dans la Seine, en suivant la pente naturelle du sol, et pourquoi elle coupe au contraire les Ardennes à contre-pente ; pourquoi le Rhin se détourne vers Mayence, en coupant un terrain solide, plutôt que de

suivre sa direction à travers des terrains plus bas et plus incohérents pour se jeter dans le Weser; pourquoi le Rhône, parvenu à Saint-Genis, ne coupe pas les terrains arénacés qui lui barrent le passage pour se continuer vers la Tour-du-Pin, et se détourne brusquement au nord pour aller passer à travers des calcaires bien plus solidement agrégés, et plus difficiles à entamer. Partout on peut faire des observations du même genre, et il semble que les rivières aient toujours reculé devant les dépôts qui, précisément, leur offraient le moins de résistance.

La conséquence à tirer de ces faits, c'est que les rivières, au lieu d'avoir creusé leurs lits, comme on l'a pensé, se sont tout simplement dirigées par des canaux qu'elles ont trouvés tout établis. Or, il n'est pas difficile de remonter à l'origine de ces canaux; ils sont évidemment le résultat des soulèvements qui ont bosselé et déchiré la surface du sol jusqu'alors horizontale. Il est clair, en effet, que les couches inflexibles ont dû alors se briser, et qu'il s'est fait en conséquence un nombre plus ou moins considérable de fentes, comme dans la coupe transversale, fig. 126. Ces fentes sont de-

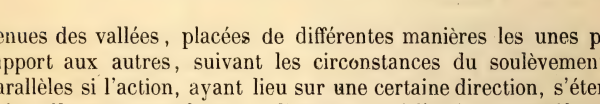


Fig. 126. *Production des vallées par disloc ation.*

venues des vallées, placées de différentes manières les unes par rapport aux autres, suivant les circonstances du soulèvement : parallèles si l'action, ayant lieu sur une certaine direction, s'étendait suffisamment en largeur; divergentes si l'action se manifestait en un point, comme dans certains massifs de montagnes; souvent enfin perpendiculaires à la direction des chaînes soulevées, comme les fentes secondaires qui se manifestent pendant les tremblements de terre, fig. 9, ce qui dut avoir lieu surtout lorsque l'action intérieure forçait quelques matières cristallines à sortir par la fente principale. On conçoit facilement que les crevasses soient restées plutôt ouvertes dans les matières solides que dans les dépôts arénacés, dont les éboulements tendent à combler successivement les vides; et voilà pourquoi les rivières semblent avoir fui les terrains meubles, qu'elles auraient pu si facilement entamer si elles n'avaient trouvé un lit préparé dans une autre direction. De même, dans les bassins successifs que la plupart des vallées présentent, et qui s'offrent à nos yeux comme autant de lacs, § 14, on reconnaît aisément la cause des défilés par lesquels les eaux s'échappent : ce

sont encore des crevasses, qui ont dû s'ouvrir surtout dans les matières solides.

§ 122. **Influence des eaux sur les vallées.** — Il ne faudrait pas conclure cependant que les eaux n'ont jamais eu aucune influence sur la configuration des vallées. Il est à croire, au contraire, que dans les événements qui ont si subitement crevassé une contrée, et ont fait écouler tout-à-coup les eaux qui s'y étaient rassemblées, il s'est produit des courants d'une force effrayante qui, en arrachant et déblayant toutes les parties fracturées par le soulèvement, ont modifié les passages qui leur étaient offerts, § 70 à 72. On ne peut douter que tous ces débris, charriés avec une vitesse prodigieuse, n'aient sillonné fortement toutes les roches qui restaient en place, et contribué pour beaucoup à l'élargissement et à l'approfondissement des gorges que la rupture avait commencées; nous en avons pour témoins l'usure des roches et les sillons que nous apercevons sur le flanc des vallées, dans la direction des blocs qui ont été transportés au loin à l'époque de ces grandes convulsions de la nature, § 201 à 210. La plus grande partie de nos vallées ont été évidemment façonnées postérieurement par les eaux, et il n'y a que celles qui ont apparu les dernières, comme dans les Alpes du Valais, dans les Andes, etc., qui conservent des traces plus nettes de leur première origine.

Il est probable aussi que certaines vallées qui traversent des terrains meubles, peu disposés à se fracturer, ont été entièrement produites par l'action des eaux. Les vallées auxquelles on peut attribuer cette origine présentent des caractères fort différents de ceux des premières : d'un côté, elles suivent les lignes naturelles de pentes; d'un autre, elles se dérangent de leur direction à l'approche des masses qui offrent plus de résistance, et autour desquelles elles tournent, pour rester constamment dans les dépôts meubles. Telles sont les vallées qui sillonnent les grands dépôts de cailloux roulés qu'on trouve au pied des Alpes occidentales, dans la Bresse, dans le Bas-Dauphiné, tout le long de la vallée du Rhône et dans celle de la Durance, § 205. La plupart de nos grandes rivières ont elles-mêmes creusé leurs lits dans des alluvions anciennes, fig. 127, fort différentes de celles qu'elles forment aujourd'hui : telle est, par exemple, le cas de la Seine, à Paris, qui a creusé son lit dans un dépôt de cailloux roulés fort différents des graviers qu'elle dépose maintenant.

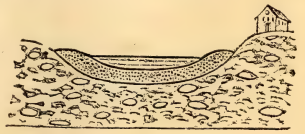


Fig. 127. *Vallée d'érosion dans les terrains meubles.*

§ 133. **Diverses espèces de vallées.** — On voit, d'après ces observations, qu'il y a lieu à distinguer des vallées de diverses origines, et qu'on peut les rapporter à trois espèces principales.

1° *Vallées de déchirement* Ce sont celles qui ont été produites par des fentes de toutes dimensions, quelquefois colossales, formées pendant les soulèvements qui ont amené nos continents à leur relief actuel. Elles présentent, en général, des escarpements rapides, sur lesquels on aperçoit les tranches des couches fracturées, et où les angles saillants d'un côté correspondent souvent à des angles rentrants de l'autre. Les cirques qui les terminent fréquemment dans le haut, ou ceux qui les divisent sur leur longueur, sont autant de cratères de soulèvement, dont la plupart sont nettement caractérisés, soit par leurs couches relevées, soit par les barancos qu'ils présentent. Les vallées des Ardennes, des Vosges, des Alpes, des Pyrénées, etc., nous présentent de beaux exemples de cette formation. Dans diverses contrées de la France nous trouvons également des vallées de même origine; mais la plupart sont beaucoup plus modifiées par les érosions qui ont eu lieu à diverses époques : tel est le cas, par exemple, des vallées qui sillonnent le plateau central de la France dans le Limousin, l'Auvergne, etc.

On a distingué aussi des *vallées d'effondrement;* mais il paraît en exister peu de véritables, § 37 et 111, et qui soient dues purement à cette cause. Les effondrements sont fréquemment corrélatifs des soulèvements; et les vallées aussi bien que les cratères de soulèvement peuvent offrir à la fois l'un et l'autre effet, qui doivent avoir eu lieu surtout dans les cirques qu'on trouve sur leur longueur et à leur extrémité supérieure.

2° *Vallées de ploiement* ou *de plissement.* Elles sont produites par deux soulèvements voisins qui ont déterminé les couches de terrain à se relever de part et d'autre, en laissant un espace libre dont leurs plans forment alors les pentes : c'est ce que nous avons fait remarquer dans les parties hautes du Jura, fig. 123. Plusieurs rivières coulent ainsi dans des vallées qui résultent de deux redressements opposés du terrain : tel est, par exemple, le cas de la Loire, après Briare, qui se détourne tout-à-coup à angle droit en se jetant dans une dépression de ce genre.

3° *Vallées d'érosion* ou *de dénudation.* Elles ont été formées dans des terrains meubles ou délayables, comme les ravins que les eaux d'orage produisent sous nos yeux en emportant avec elles les matières qui constituaient le sol. Les derniers encaissements des grandes rivières sont formés de cette manière, et c'est aux érosions qui se font journellement dans les grandes crues que sont

dus les changements de lit que nous remarquons si souvent dans quelques unes d'elles.

§ 124. **Origine des cavernes.** — Voici encore un de ces phénomènes que l'on a attribués à l'action des eaux ; mais, bien qu'on rencontre au niveau des mers quelques sillons, quelques cavernes peu profondes, que l'on peut attribuer à l'action répétée des vagues, il est difficile de penser que de grands couloirs qui ont quelquefois plusieurs lieues d'étendue, aient été produits uniquement par l'action des eaux qui les parcourent ou les ont jadis parcoures. On a si bien remarqué le peu d'action des eaux sur les calcaires compactes, où les cavernes se trouvent principalement, qu'on a imaginé que les espaces, aujourd'hui libres, que nous rencontrons, étaient autrefois occupés par des masses de sel que les eaux auraient plus tard dissoutes et emportées.

Au lieu de recourir à de telles suppositions, il est à présumer que l'origine première des cavernes est due à des crevasses qui se sont opérées dans l'intérieur du sol, et qui ont été modifiées ensuite par différentes causes. Nous savons, en effet, que pendant les tremblements de terre il arrive tout-à-coup que des rivières ou des lacs prennent un écoulement souterrain, tantôt momentané et tantôt continu, §19, 20; ce que l'on conçoit par des crevasses intérieures analogues à celles qui se produisent à la surface, et qui ont procuré les conduits nécessaires. Le phénomène coïncide quelquefois avec l'apparition soudaine de quelque source abondante dans des lieux plus ou moins éloignés; mais souvent aussi les eaux ne reparaissent nulle part, et il faut croire qu'elles vont déboucher immédiatement dans les mers. Toutes ces circonstances nous expliquent la disparition de certaines rivières qui s'engouffrent sous terre après un cours superficiel plus ou moins étendu, ainsi que les sources que nous voyons tout-à-coup sortir des flancs d'un rocher. Elles nous montrent la formation, l'existence des canaux souterrains, et nous font concevoir que, mis à sec par un soulèvement plus ou moins considérable, ces canaux ont pu former les cavernes, aujourd'hui libres, que nous rencontrons à toutes les hauteurs, aussi bien que celles dont le fond est encore occupé par un filet d'eau fourni par les lacs ou les rivières supérieurs, comme on en voit dans la Croatie et la Carinthie.

Cependant, si l'origine première de la plupart de ces cavités souterraines ne peut être douteuse, si l'on trouve évidemment toute l'irrégularité d'une fente dans quelques unes d'entre elles, il faut avouer qu'il y a eu souvent des changements importants dans la forme générale et dans l'état de leurs parois; les formes arrondies,

l'usure et le poli des surfaces, les sillons, les excoriations diverses, et cela dans toutes les positions, même à la partie supérieure des voûtes, indiquent une action corrosive dont l'eau seule n'est pas capable. On a pensé que ce liquide avait pu être chargé de gaz acide carbonique, qui, en effet, se dégage fréquemment du sein de la terre par toutes les fissures qui s'y forment, surtout au moment des tremblements de terre, et que c'était à son action dissolvante que ces effets postérieurs étaient dus.

DÉPÔTS ATTRIBUABLES A L'ACTION VOLCANIQUE.

§ 125. **Cônes volcaniques et courants de laves.** — Lorsqu'à la surface du globe nous rencontrons des monticules coniques, tantôt isolés, tantôt alignés plusieurs ensemble sur une même direction, et couverts de scories, quelquefois avec des cavités cratériformes au sommet, entourés de rapilli, il est évident, par analogie avec ce qui se passe sous nos yeux, que ce sont des cônes volcaniques, quelle que soit l'ignorance où nous pouvons être de leur époque d'activité. Si, sur le flanc des montagnes, quelle que soit d'ailleurs leur nature, nous voyons des masses étroites, allongées, terminées dans le bas par un culot, se creusant sur le milieu, s'amincissant et finissant dans le haut par une pellicule de scories disloquées, fig. 31, nous ne pouvons encore douter de leur origine, quand bien même toute autre trace de volcanicité aurait disparu. Des dépôts étroits plus ou moins allongés, dont l'épaisseur varie avec la pente sur laquelle ils se trouvent, dont la surface est scoriacée, tourmentée ou disloquée de diverses manières, doivent être reconnus pour des courants de laves, § 48, 49; si nous voyons ces matières en galettes, en nappes plus ou moins étendues, compactes à leur partie inférieure, poreuses, celluleuses ou scoriacées à leur partie supérieure, à surface à peu près unie, nous devons conclure qu'elles se sont accumulées sur un sol sensiblement horizontal, ou qu'elles sont venues à un état plus ou moins liquide se rendre dans un bas-fond. Ce sont là évidemment des dépôts sortis du sein de la terre à l'état de fusion, et les caractères en sont assez tranchés pour que nous n'ayons pas même besoin de nous occuper du point de départ; celui-ci n'est utile que pour les considérations subséquentes.

C'est par des observations de ce genre qu'on reconnaît partout les volcans éteints; par exemple, ceux de l'Auvergne, si manifestes et si frais, malgré leur antiquité, qu'on les croirait prêts à

bouleverser encore la contrée. Ces volcans, qu'il ne faut pas confondre avec les montagnes trachytiques dont nous parlerons plus tard, § 133, se trouvent tous sur une ligne dirigée à peu près du nord au sud, en passant par Clermont, qui peut avoir huit lieues de longueur, et qu'on nomme la *chaîne des Puys*, fig. 128. Là

Fig. 128. *Vue d'une partie de la chaîne des Puys.*

se manifestent, aussi nettement qu'au Vésuve, et avec bien plus de diversité dans les circonstances, toutes les particularités que nous avons indiquées dans les volcans brûlants, § 39 à 58; une soixantaine de cônes plus ou moins élevés, formés ou couverts de scories, présentent des cratères non équivoques, les uns entiers, les autres ébréchés par la sortie des laves : on y reconnaît la formation de nouveaux cônes au milieu d'anciens cratères démantelés, les décompositions produites par les émanations gazeuses, toutes les formes, tous les accidents des coulées, dont les unes n'offrent que des pellicules de scories sur des pentes rapides, et dont les autres, qu'on nomme *chères*, présentent les grandes dislocations des pentes de 3 à 5 degrés, § 48, en s'étendant souvent à de grandes distances. Tous les environs sont couverts par d'immenses dépôts de rapilli et de cendres volcaniques ; enfin, rien ne manque à l'observation, si ce n'est la gerbe d'artifices et l'incandescence des laves.

Plusieurs parties du Velay et du Vivarais ne sont pas moins caractérisées. Deux lignes, dirigées à peu près du sud-est au nord-ouest, l'une dans la partie occidentale du Velay, l'autre dans le Bas-Vivarais, nous présentent encore des cônes à cratères avec de véritables coulées, soit dans les vallées, soit sur le flanc des montagnes. Mais les produits de ces courants ressemblent beaucoup moins aux laves des volcans modernes ; plus rarement poreux, ils se rapportent généralement à ce qu'on nomme les *basaltes*, § 212 *i*, c'est-à-dire à des roches d'un noir plus ou moins foncé, à base compacte de labradorite, renfermant du pyroxène noir et presque toujours de l'oxyde de fer magnétique, fréquemment du péridot, et quelquefois des feldspaths en cristaux, qui lui donnent la struc-

ture porphyrique (voyez la *Minéralogie*). Ces courants forment des dépôts ordinairement assez épais, fréquemment divisés en colonnes prismatiques, quelquefois en grande pièces irrégulières, toutes circonstances qui indiquent un refroidissement lent, § 49. Une des plus belles coulées est celle qui a rempli la vallée d'Aulière près de Montpezat, sur la route qui conduit du Haut-Vivarais à Aubenas. Une partie en a été enlevée sur la largeur, sans doute par la force des eaux qu'elle avait arrêtées ; mais le reste repose sur les cailloux roulés qui formaient jadis le fond du ruisseau : c'est là qu'on peut voir, sous la lave, une multitude d'appendices cunéiformes qui proviennent de l'introduction de la matière liquide dans les crevasses du sol ancien dégradé aujourd'hui par les eaux. On peut suivre ce courant jusqu'à la montagne d'où il est sorti, où l'on trouve un des plus beaux cônes à cratère de la contrée, et d'où l'on peut suivre une coulée semblable du côté de Thueyts. Toutes les autres coulées du pays sont plus ou moins analogues à celles dont nous parlons, soit par la nature de la matière, soit par la position.

Sur les bords du Rhin, dans les contrées d'Eiffel et de Neuwied, les volcans à laves poreuses et à laves basaltiques sont en quelque sorte entremêlés, comme pour montrer qu'ils appartiennent à une seule et même opération de la nature; quelques uns même ont fourni, par diverses bouches, tantôt un des produits, tantôt l'autre, ce qu'on voit surtout au volcan de Mosenberg.

§ 126. **Dépôts basaltiques de diverses sortes.** — S'il existe des basaltes en courants bien déterminés qui se rattachent à des cratères, il se trouve aussi des matières semblables dans des positions très différentes. Il en est beaucoup qui forment des nappes très étendues dont l'épaisseur est souvent considérable, et qui constituent de vastes plateaux ; d'autres forment des lambeaux éparpillés sur diverses montagnes, au même niveau, se correspondant entre eux, et semblant se rattacher les uns aux autres comme des parties d'un même tout et les témoins d'une vaste nappe disloquée. Il en est encore qui forment des masses isolées, des buttes au milieu des plaines, quelquefois très éloignées de toute autre formation du même genre. On en trouve enfin en filons plus ou moins puissants, tantôt encaissés dans le terrain qui les recèle, tantôt s'élevant çà et là comme des murailles, § 52, ou présentant diverses buttes alignées sur leur direction.

Toutes ces dispositions des dépôts basaltiques se rencontrent quelquefois ensemble dans la même contrée, en même temps que la disposition en coulée, comme cela se voit dans le Velay, le Vi-

varais et sur les bords du Rhin. Ailleurs, au contraire, comme dans le midi de la France, dans diverses parties de l'Allemagne et dans un grand nombre de localités, il n'y a pas la moindre trace de cônes volcaniques ou de courants. Dans tous les cas, cependant, la roche principale présente sensiblement les caractères généraux des basaltes en coulées, et semble reposer indifféremment sur toute espèce de terrain, même sur la terre végétale, comme dans quelques parties du plateau de Mirabelle dans les Coyrons.

§ 127. **Basalte en nappes.** — Les basaltes en nappes ne peuvent manquer de rappeler les grandes nappes de l'Islande, surtout celles de l'éruption de 1783 ; ils offrent d'ailleurs tous les caractères des laves qui se sont arrêtées sur des terrains horizontaux, ou qui ont rempli des bas-fonds, § 48, 49. La partie inférieure est compacte, cristalline, le plus souvent divisée en colonnes prismatiques verticales, fig. 129 ; et la partie supérieure est poreuse, celluleuse, scoriforme, divisée irrégulièrement, se terminant par une surface plane, sensiblement horizontale. Lorsque la masse se compose de plusieurs assises, les séparations sont quelquefois formées par de petits lits de rapilli ; et, le plus souvent, elles se distinguent par les alternatives de matière compacte et de matière poreuse qui caractérisent chaque épanchement particulier.

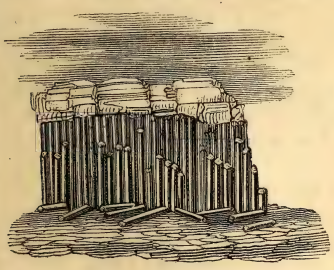


Fig. 129. *Relation des basaltes prismatiques et des basaltes poreux.*

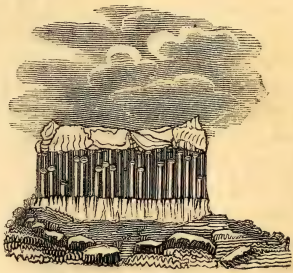


Fig. 130. *Basaltes pénétrant dans les fissures sous-jacentes.*

Ces caractères ne peuvent déjà laisser aucun doute sur l'origine ignée de ces dépôts ; mais il en existe encore plusieurs autres. Lorsqu'on peut parvenir sous les nappes basaltiques, comme dans le cas où elles reposent sur des terrains meubles, on voit presque toujours que la partie inférieure de la masse présente une multitude d'appendices, fig. 130 qui pénètrent dans ce terrain, et in-

diquent une matière liquide qui s'est moulée dans des crevasses. Les terres sur lesquelles la masse s'est placée se trouvent souvent calcinées sur une épaisseur plus ou moins forte, et les débris de végétaux qu'elles renferment sont charbonnés, ce que l'on voit sur les escarpements du plateau de Mirabelle en Vivarais, en descendant vers Saint-Jean-le-Noir.

D'un autre côté, on trouve souvent à la surface de ces nappes basaltiques des points de scorifications, des boursouflements particuliers et même des dépressions cratériformes, vers lesquelles la matière fondue semble s'être retirée en un certain moment avant de se solidifier. C'est ce qu'on observe dans beaucoup de lambeaux basaltiques des plateaux d'Auvergne, et surtout dans l'immense plateau des Coyrons en Vivarais.

Tous ces caractères ne peuvent laisser de doute sur l'origine des nappes ou des lambeaux basaltiques qui les présentent. Il est à présumer que ces matières sont arrivées au jour par certaines crevasses et se sont répandues sur les surfaces horizontales où elles aboutissaient, § 48. Les dépressions cratériformes qu'on y trouve quelquefois sont peut-être les points principaux de l'éjection, vers lesquels la masse liquide s'est affaissée au moment où la colonne a cessé d'être poussée par la force intérieure qui la sollicitait. Or, l'ensemble des faits qu'on observe dans un grand nombre de plateaux, ou de lambeaux basaltiques, paraît le prouver suffisamment, dans la même contrée, pour ceux qui n'offrent pas une aussi grande somme de données, et fournit tout au moins une grande probabilité lorsque, les matières celluleuses et les points de scorification ayant cessé d'exister, il ne reste plus que l'identité de la roche principale.

Tout ce que nous venons de dire concourt à prouver que les basaltes en nappes se sont répandus sur un sol sensiblement horizontal. Si on en trouve quelquefois aujourd'hui sur des pentes plus ou moins inclinées, allant même jusqu'à 8, 10 ou 15°, il faut nécessairement admettre qu'ils ont été relevés après coup, puisque des courants de matières fondues ne peuvent prendre une surface unie et une épaisseur constante sur des pentes de cette espace. Nous avons vu, en effet, § 48, que les laves ne peuvent s'amonceler sur des plans inclinés de plus de $\frac{1}{2}$ degré, et qui doivent l'être beaucoup moins encore, lorsque la matière a beaucoup de fluidité, comme cela paraît avoir été le cas du basalte, vu la cristallinité des masses principales. Si nous trouvons en beaucoup de lieux des nappes de basalte inclinées, comme au Cantal, au Mont-Dore, dans la partie nord de l'Auvergne, nous reconnais-

sons en même temps une foule de circonstances qui nous indiquent des soulèvements du sol postérieurs à leur formation.

§ 128. **Basalte en buttes.** — Ces buttes sont de diverses sortes : il en est qui se présentent comme des restes d'une nappe étendue qui aurait été en partie détruite, et dont il n'y a plus que quelques témoins ; la masse principale de la butte appartient alors à un terrain d'une espèce ou d'une autre, et le sommet seul est basaltique. Pour d'autres, au contraire, toute la butte est formée de basalte, et le pied se perd dans des masses de sables et de débris qui empêchent de voir ce qui se passe au-dessous ; quelques autres enfin se rattachent à des filons, comme nous allons le voir.

Dans un grand nombre de buttes de l'une ou l'autre sorte, on trouve une composition semblable à celle que nous venons d'indiquer pour les nappes : c'est-à-dire une ou plusieurs couches compactes plus ou moins cristallines, assez souvent divisées en prismes verticaux ; et une masse supérieure, poreuse, celluleuse, scoriacée. La masse compacte manque quelquefois, et toute la butte se compose alors de scories ; ailleurs, c'est le contraire, et le basalte proprement dit est la seule matière apparente. Rarement la surface qui forme le sommet présente ces points de scorification qu'on trouve dans quelques plateaux.

§ 129. **Basalte en filons.** — Le basalte, avec tous les caractères que nous lui avons attribués, se présente fréquemment en filons ; le centre de la France, où l'action volcanique se manifeste si fréquemment, en offre beaucoup d'exemples, aussi bien que les bords du Rhin. Le plus souvent la masse du filon est compacte ou fendillée irrégulièrement, mais il arrive aussi qu'elle se trouve partagée en prismes, fig. 131, perpendiculaires aux parois de la fente, qui deviennent alors les surfaces de refroidissement ; c'est un effet semblable à celui que nous avons déjà fait remarquer, § 49, dans les grandes coulées de laves, dont la masse, arrivée sur un sol horizontal, qui en soutire alors la chaleur, se divise en prismes verticaux. Rarement les matières de ces filons sont scorifiées ; et cependant on en trouve quelques exemples, comme dans le Vivarais, le Velay et l'Auvergne, notamment auprès de Murat, au pied du

Fig. 131. *Filon de basalte prismatique.*

Cantal. Le plus souvent les filons basaltiques se prolongent jusqu'à la surface du terrain, où ils présentent leurs affleurements; mais il arrive fréquemment aussi qu'ils se terminent par le haut en masses effilées, comme fig. 132, quelquefois bifurquées, qui se perdent dans la roche qu'elles traversent. Cette circonstance est très importante; car elle indique positivement que ce n'est pas par le haut que la matière basaltique s'est introduite, et qu'elle ne peut être que le résultat d'une injection de l'intérieur à l'extérieur. Quelquefois le filon se glisse entre deux couches, qu'il suit alors sur une étendue plus ou moins considérable; ou bien il lance, en se ramifiant, une partie de sa masse dans l'intervalle, et finit par s'y terminer en coin ou s'y répandre dans toutes les petites fissures de la roche.

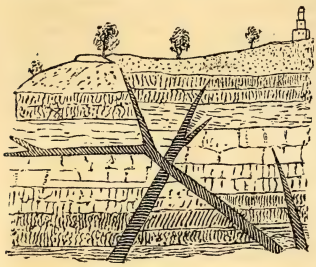


Fig. 132. *Filons basaltiques de Villeneuve-de-Berg.*

Un des points les plus intéressants qu'on puisse trouver pour prendre une idée nette de l'origine des filons basaltiques, aussi bien que des effets qu'ils ont pu produire, se rencontre en Vivarais, près du hameau du Pal, au-dessus de la petite ville de Montpezat, où nous avons indiqué un des plus grands cratères d'éruption, § 125. Là, au bout d'un défilé étroit, entre deux montagnes abruptes, on trouve un cirque entouré de montagnes granitiques, escarpées vers son intérieur, et au milieu duquel s'élèvent trois cônes de scories. Le granite y est crevassé dans tous les sens, et traversé par des filons basaltiques, les uns assez considérables, les autres très minces, et dont la matière a pénétré jusque dans les plus petites fissures, ce qui indique à la fois sa fluidité et la force avec laquelle elle était poussée. L'un des grands filons court précisément dans la direction d'une coulée basaltique placée à l'extérieur du cirque, qu'on voit sortir évidemment du granite, et qui se dirige vers Montpezat. C'est de la même manière qu'à la montagne de Chamarelle, près Villeneuve-de-Berg, dans la même contrée, le basalte a traversé des masses calcaires, s'est introduit dans leurs moindres fissures, et de telle sorte que sur un échantillon de quelques centimètres on rencontre quelquefois plusieurs alternatives de calcaire et de basalte. Quelquefois aussi le filon s'est introduit entre les couches dont il a suivi quelque temps la stratification, comme nous l'avons déjà indiqué fig. 132.

Sur la direction des filons basaltiques dont on voit les affleurements à la surface du terrain, il arrive fréquemment qu'on aperçoit diverses buttes isolées, fig. 133, dont souvent plusieurs se succèdent à des distances plus ou moins rapprochées, et qui paraissent n'être autre chose que des éjections partielles, comme les cônes qui se forment sur une même fente dans les éruptions modernes, § 47. Le plus souvent elles sont à peu près entièrement composées de scories, mais il s'en trouve aussi qui sont formées de basaltes purs. Quelquefois, au lieu de buttes, ce sont des épanchements en forme de galettes plus ou moins épaisses, comme fig. 134, qu'on trouve aussi çà et là sur la direction du filon. Toutes ces circonstances, dont on voit un assez grand nombre d'exemples dans le Bas-Vivarais, particulièrement vers Rochemaure, Villeneuve-de-Berg, etc., et dans les montagnes qui séparent cette province du Velay, tendent à nous expliquer la formation des buttes isolées, aussi bien que les séries de buttes alignées qui se trouvent dans un grand nombre de localités où les filons intérieurs ont rencontré çà et là quelques issues. Nous y trouvons encore l'origine de quelques plateaux basaltiques, de ceux mêmes qui n'offrent aujourd'hui aucune des traces ordinaires de volcanicité, § 126, 127, parce que sur les escarpements des montagnes on les voit en communication avec des filons de même nature qui traversent tout le terrain inférieur.

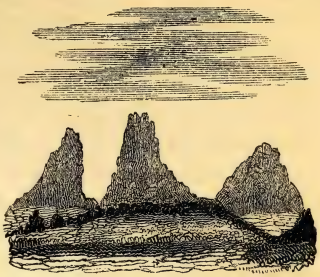


Fig. 133. *Buttes sur la direction d'un filon.*

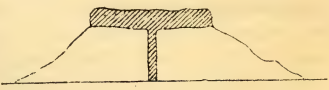


Fig. 134. *Filon se terminant en plateau.*

§ 130. **Action des basaltes sur les roches adjacentes.** — A toutes les preuves d'origine ignée que nous avons rassemblées, il s'en joint plusieurs autres qui résultent de l'action des basaltes sur les matières avec lesquelles ils se sont trouvés en contact. Nous avons indiqué la calcination des argiles sur lesquelles ils reposent, la carbonisation des débris de végétaux; mais nous devons ajouter que les granites traversés par les filons sont fortement altérés, que les portions de ces roches qui ont été enveloppées dans le basalte sont souvent fondues à leur surface, que le quarz et le feldspath y sont fendillés, quelquefois enveloppés ou pénétrés de matière vitreuse;

c'est ce que l'on voit au volcan du Pal, tant dans les buttes de scories que dans les filons et dans la coulée basaltique. Les marnes, les calcaires terreux en contact avec le basalte, ou traversés par ses filons, et surtout les fragments de ces matières entraînées dans la masse basaltique, sont convertis en calcaire compacte, approchant quelquefois de l'état saccharoïde, comme quand, sous une forte pression, ils sont chauffés à une haute température dans l'expérience de sir James Hall : c'est ce qu'on voit quelquefois à Villeneuve-de-Berg, au plateau de Mirabelle dans les Coyrons, etc. Ailleurs ces calcaires sont devenus en outre magnésiens et présentent de véritables dolomies (voyez *Minéralogie*), qui se distinguent du reste de la masse enveloppante par leur lente effervescence : c'est ce qu'on indique à Rochemaure et à Chenavari, dans le voisinage des dikes; ce qu'on voit sur une plus grande échelle autour des dépôts basaltiques de Lodève et sur divers points du plateau de Larzac, où la dolomisation paraît due à la présence des produits ignés qu'on voit çà et là dans la contrée. Lorsque les filons basaltiques ont traversé des dépôts charbonneux, les argiles sont calcinées, les charbons sont privés de leur bitume et affectent une structure bacillaire, comme au Meisner en Hesse.

§ 131. **Étendue des basaltes.** — Les dépôts basaltiques, en nappes, en buttes, en filons, sont beaucoup plus répandus à la surface du globe que toutes les laves en courants déterminés, ce qui tient sans doute à leur mode d'éjection. Il ne s'était point fait alors de centre volcanique; et l'action intérieure du globe, s'exerçant partout, s'est manifestée, dans les points de plus faible résistance, par des déchirures qui çà et là ont donné passage aux éjections. En France on trouve des basaltes depuis la partie septentrionale de l'Auvergne jusqu'au bord de la Méditerranée, au-delà de Montpellier, et même encore par lambeaux isolés jusqu'au-delà de Toulon. Sur les bords du Rhin l'ensemble des dépôts basaltiques s'étend depuis les Ardennes jusqu'au-delà de Cassel, et se prolonge à l'est dans la Saxe, la Bohême, etc. L'Islande en renferme une grande quantité, et ce sont encore les mêmes roches qui dominent aux Antilles, à Sainte-Hélène, à l'Ascension, etc., et dans la presque totalité des îles de la mer du Sud.

Les terrains basaltiques ont été partout constamment remarqués par suite de la tendance des roches principales à se diviser en longs prismes, dont les dispositions variées ont excité souvent l'admiration des curieux. Ici tous les prismes convergent au sommet d'une butte, qui se présente comme un *gerbier;* là ils offrent des *colonnades* magnifiques, de l'aspect le plus pittoresque; ailleurs

toutes les colonnes, brisées sur un même niveau, présentent des *pavés* composés de pièces à pans régulièrement accolées, s'étendant sur un espace plus ou moins considérable, et quelquefois placés en amphithéâtre les uns au-dessus des autres. La grandeur, l'aspect imposant de ces pavés leur ont fait donner le nom de *pavés* ou *chaussées des Géants*.

§ 132. Pendant longtemps on a cité l'Irlande pour ses immenses et pittoresques chaussées des Géants ; mais, sans sortir de France, le Vivarais nous présente des effets non moins admirables, surtout entre Vals et Entraigues, sur les bords de la petite rivière du Volant, dont la figure 135 représente une partie. Les colonnades

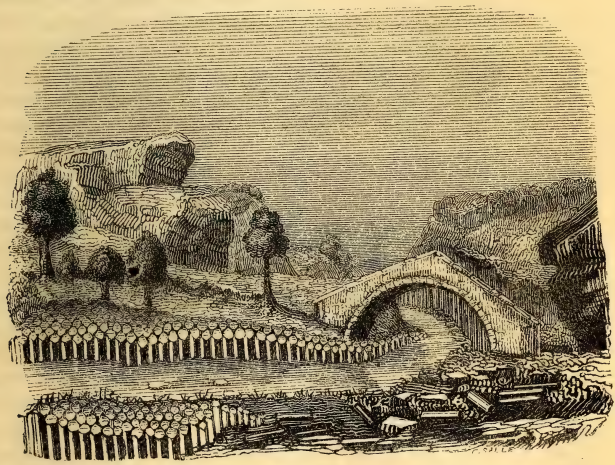


Fig. 135. *Chaussée basaltique du Volant* (*Ardèche*).

de Chenavari, près de Rochemaure, fig. 129, les dikes qui sont près de cette ville, fig. 133, et une multitude d'accidents de toute espèce, ne sont pas moins dignes de captiver notre attention. Un voyage à travers le Vivarais, le Velay, si remarquable surtout aux environs du Puy, et l'Auvergne, est d'un attrait immense sous le simple rapport des curiosités naturelles.

Une circonstance que nous ne devons pas oublier est fournie par les excavations qui se présentent quelquefois au milieu des masses basaltiques, ou des *roches trappéennes* (*Minéralogie*, groupe des *feldspaths*) qui leur ressemblent le plus, et dont quelques unes

offrent des grottes fort remarquables. La plus célèbre est la grotte de Fingal, dans l'île de Staffa, fig. 136, qui est formée au milieu des *trapps*, divisés alors en colonnes prismatiques de la plus grande régularité, et dans laquelle la mer vient battre continuellement. Il en existe aussi dans le basalte proprement dit; on en voit quelques unes en Vivarais, et l'on en cite une assez renommée sur les bords du Rhin, entre Trèves et Cobientz, près de Bertrich-Baden, dont les colonnes sont formées de pièces arrondies, qui les ont fait comparer à des piles de fromages, d'où le nom de *grotte des Fromages* usité dans le pays.

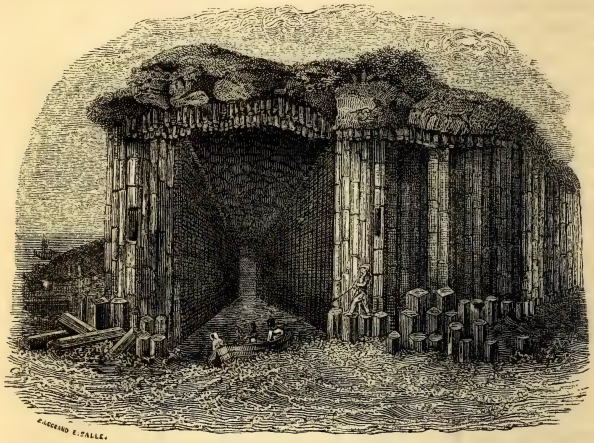


Fig. 136. *Grotte de Fingal, à l'île de Staffa.*

§ 133. **Formation trachytique.** — Il existe encore à la surface du globe une autre formation d'une étendue immense, qui constitue en Auvergne le Puy-de-Dôme, le Mont-Dore, le Cantal, ainsi que le Mézenc et le Mégal sur la limite du Velay et du Vivarais; on la retrouve à la droite du Rhin dans le Siebengebirge; elle forme des groupes immenses en Hongrie, en Transylvanie, au Caucase, dans la Grèce, où elle se prolonge, par les îles de Milo et d'Argentiera, jusqu'au centre actif de Santorin, § 33; on la retrouve aux îles de Lipari, dans la Campanie, dans les monts Euganéens. Les Açores, les îles Canaries, l'Amérique équatoriale, le centre de l'Asie, plusieurs des îles adjacentes, jusqu'au Kamtschatka, en offrent également d'immenses dépôts

Cette formation ne présente plus seulement des buttes coniques

isolées, des coulées en bandes étroites, des nappes éparpillées à la surface du globe ; les matières qui la constituent composent de puissantes montagnes, le plus souvent réunies en groupes très étendus, qui forment des masses très élevées, ordinairement les plus hautes de la contrée, et couvertes d'aspérités ; leurs flancs sont déchirés par des vallées et des gorges profondes, à pentes escarpées et avec tous les accidents des hautes chaînes. Toutes ces circonstances font éminemment contraster la formation trachytique avec les dépôts ignés que nous avons vus jusqu'ici, et permettent de la distinguer dès le premier moment, quoiqu'une étude approfondie puisse ensuite y faire reconnaître diverses relations avec les dépôts de basalte ou de lave.

Les roches qui constituent la formation trachytique sont extrêmement variées, chacune des montagnes agglomérées en offrant pour ainsi dire une espèce particulière. La plupart de ces matières, comme le nom l'indique, ont quelque chose d'âpre au toucher, parce que le plus souvent elles sont finement poreuses, quelquefois caverneuses, scoriacées, ponceuses ; cependant il en est qui sont tout-à-fait compactes, et qui présentent la structure porphyrique, § 212 *n*, fréquemment avec des teintes grises, rouges, brunes et noires, sur lesquelles se détachent des cristaux blancs d'albite et de ryacolithe. Il en est qui sont plus ou moins terreuses, ordinairement de teintes claires, et qu'on désigne plus particulièrement sous le nom de *Domite*, parce que le Puy-de-Dôme en est composé. La base de toutes ces roches, inattaquable par les acides, est albitique ou ryacolithique, formée d'une multitude de cristaux microscopiques entremêlés, dont l'ensemble constitue une masse plus ou moins compacte. Les substances disséminées sont l'albite en cristaux plus ou moins volumineux, le ryacolithe, les micas noirs, l'amphibole hornblende, rarement le pyroxène augite. Le quarz en cristaux et la calcédoine en petits rognons s'y trouvent aussi quelquefois, et surtout dans certaine espèce très caverneuse qu'on n'a rencontrée jusqu'ici qu'en Hongrie, dont la pâte renferme aussi beaucoup de petites boules striées de sphérolithe.

On a nommé *phonolithes* des roches plus ou moins analogues à certaines variétés de trachytes, mais qui en diffèrent en ce qu'elles sont en partie attaquables par les acides en laissant un résidu de ryacolithes. Ces roches présentent le plus souvent des matières compactes, grisâtres ou verdâtres, quelquefois porphyroïdes, mais dans lesquelles les substances disséminées sont rares. Elles se divisent fréquemment en plaques ou en feuillets plus ou moins épais, et dans certains cas toute la masse est partagée en colonnes pris-

matiques qui sont plus souvent divergentes et contournées que verticales. On a quelquefois confondu les phonolithes avec certaines variétés porphyroïdes de trachyte, qui présentent à peu près les mêmes accidents, mais non les mêmes caractères de solubilité.

Il existe aussi dans les terrains trachytiques des dépôts plus ou moins considérables d'obsidienne et de perlite avec tous leurs passages à la ponce. Leur abondance et leurs caractères varient beaucoup suivant les diverses localités; elles sont prépondérantes dans certaines contrées, tandis que dans d'autres il ne s'en trouve pas même de traces.

Souvent, au milieu de montagnes formées de matières homogènes et purement cristallines, s'élèvent des buttes qui se trouvent uniquement composées de blocs ou de fragments scoriacés, liés fortement entre eux par des pâtes poreuses, compactes ou vitreuses. Ces matières fragmentaires, nommées jadis *conglomérats trachytiques*, sont quelquefois extrêmement abondantes, comme en Hongrie et dans le Cantal, et les masses de trachytes sont fréquemment noyées au milieu d'elles. Souvent aussi on trouve des nappes trachytiques diverses séparées les unes des autres, comme au Cantal et aux monts Dore, par des débris analogues, qui se rencontrent à toutes les hauteurs et souvent jusque sur les sommets les plus élevés. Mais outre ces dépôts fragmentaires qu'on observe au centre même des groupes, il s'en trouve d'autres à l'extérieur qui sont quelquefois immenses, tantôt composés de matières ponceuses, soit en fragments distincts, soit en poussière fine et souvent altérée, tantôt offrant des poudingues où toutes les variétés de trachytes se rencontrent en fragments ou en cailloux roulés, quelquefois libres, le plus souvent agglutinés par des matières terreuses. Ces nouveaux dépôts semblent annoncer un remaniement des roches par les eaux, et d'autant mieux que dans les parties fines il arrive quelquefois qu'on trouve des débris organiques divers, comme dans la Campanie et la Hongrie.

Tous les caractères que nous venons d'indiquer ne peuvent laisser de doutes sur l'origine des terrains trachytiques; certaines variétés des roches qu'ils renferment ressemblent complétement aux trachytes de Santorin, de Ternate, des coulées de Java, § 54; les matières vitreuses rappellent les coulées du même genre qu'on remarque sur les flancs du pic de Ténériffe, dans les volcans trachytiques des Andes, etc. L'abondance des matières ponceuses autour des groupes, quelquefois à de très grandes distances, et renfermant des coquilles marines et autres débris organiques, rappelle inévitablement les éruptions de ponces, si souvent remarquées dans les

volcans sous-marins, aussi bien que celles de l'île Saint-George, de Sumbawa, etc.

Dans les vallées et les escarpements que présentent toutes ces buttes accolées les unes aux autres, on rencontre fréquemment des filons également trachytiques qui expliquent suffisamment comment toutes ces matières ont pu parvenir au jour. Quelques uns présentent de grands affleurements que l'on peut suivre à la surface du sol; d'autres, après s'être élevés verticalement, se terminent par une pointe effilée dans la roche même qu'ils parcourent. Un assez grand nombre aboutissent à des nappes plus ou moins étendues, à des buttes isolées, à des amas particuliers au milieu de quelque autre dépôt; c'est ainsi que, dans le Cantal, certains filons qui traversent les dépôts d'agrégation s'épanouissent en nappes au-dessus d'eux, ou en amas dans leur intérieur, et que des filons de phonolithes aboutissent à des buttes isolées de ces matières, souvent composées de prismes comme les buttes basaltiques.

Ces filons expliquent évidemment l'origine des nappes de trachytes, qui se présentent si souvent dans les groupes de cette formation, et sans qu'on puisse y reconnaître aucun point d'éruption. L'uniformité d'épaisseur de ces nappes, leur nature souvent cristalline et porphyrique, qui annoncent un certain degré de fluidité, un refroidissement lent, indiquent qu'elles ont dû se former horizontalement, § 48 à 50; mais comme on les trouve fréquemment inclinées, il est évident qu'elles ont dû subir après coup des relèvements plus ou moins considérables : c'est ce que tout indique dans les monts Dore, dans le Cantal et au Mézenc, où l'on reconnaît les traces des soulèvements généraux et celles des soulèvements partiels qui ont affecté quelques groupes.

§ 134. **Détails sur quelques groupes trachytiques.** — Le terrain trachytique est caractérisé dans le nord de l'Auvergne, près de Clermont, par le trachyte terreux, ou *domite*, qui constitue le *Puy-de-Dôme*, ainsi que les buttes voisines, nommées *Petit-Suchet*, *Clierzou*, *Sarcouy*, et une partie du *Puy-Chopine*. La matière, qui paraît uniquement composée de ryacolithe, est blanchâtre, jaunâtre, quelquefois grisâtre ou rougeâtre, le plus souvent assez solide quoique poreuse, légère et quelquefois terreuse. Elle est assez souvent pénétrée de chlore qui se dégage lorsqu'on la brise: circonstance qui rappelle les gaz que renferment les laves modernes à leur sortie des volcans, § 60. Rien n'indique comment ces dômes ont été produits; mais comme la même matière se trouve en filons dans les monts Dore et le Cantal, où elle vient quelquefois aboutir à de légères buttes, il est à présumer qu'elle s'est fait jour en divers points sur

la direction d'une fente, et s'est amoncelée sur l'ouverture même qui lui donnait passage.

Dans les monts Dore et dans le Cantal, le terrain est beaucoup plus compliqué ; le trachyte y présente un grand nombre d'espèces : granitoïde, amphibolique, porphyrique, avec toutes les modifications possibles dans la quantité et la disposition des parties, et par le plus ou moins de porosité : elles forment tantôt des montagnes isolées, tantôt des nappes particulières et même des espèces de coulées. Les déjections ponceuses, scoriacées, pulvérulentes y sont très abondantes. Les matières vitreuses s'y présentent quelquefois, mais en petite quantité, soit en espèces d'amas en relation avec des ponces, comme dans les monts Dore ; soit en filons, comme dans le Cantal. Les phonolithes semblent être les matières les plus récentes du terrain ; elles reposent jusque sur les dépôts pulvérulents de ponces remaniés par les eaux, et les traversent même sous forme de filons. Aux monts Dore, elles se trouvent à l'extérieur du groupe, où elles se rattachent à un soulèvement particulier ; au Cantal, elles se montrent en filons assez nombreux dans toutes les parties de ces montagnes, ou bien en buttes dans le cratère de soulèvement qui se trouve au centre.

Le Mézenc et le Mégal sont remarquables, d'un côté, par l'absence des matières ponceuses ou scorifiées et des dépôts sédimentaires ; de l'autre, par la liaison intime des trachytes, le plus souvent compactes ou porphyriques, avec les phonolithes qui s'y mélangent de toutes les manières. Ces dernières sont cependant en général les roches dominantes, celles qui donnent à la contrée sa physionomie particulière, assemblage de pics et de plateaux.

On voit que les groupes trachytiques sont extrêmement variables quant aux roches qu'ils présentent. En France, les roches vitreuses sont peu développées ; au contraire, on reconnaît qu'elles sont très abondantes dans certaines parties des groupes de la Hongrie, dans les îles de Lipari, aux Canaries, dans certaines parties du Mexique. Le caractère le plus général est l'indépendance des diverses variétés, qui le plus souvent constituent chacune une butte à part, ou qui forment des nappes particulières provenant probablement de quelques filons. Les phonolithes véritables, attaquables par les acides, sont des roches assez rares qui semblent avoir préludé aux basaltes, qui, comme elles, sont indépendants des vrais trachytes, et se trouvent rejetés à l'extérieur quand ils sont en relation avec les groupes trachytiques. Il y a en Allemagne et en Écosse des phonolithes qui sont liées au basalte sans indice de terrain trachytique proprement dit.

Certains volcans actifs sont ouverts dans le trachyte : tel est le cas des volcans du Mexique, qui offrent des dômes trachytiques crevés à leurs sommets et qui ont rejeté des obsidiennes : c'est ce qu'on voit aussi à Ténériffe, à Java, à Sumbawa, etc. Mais en Europe il n'existe aucune trace de cet ordre de choses : seulement, au pied des dômes de Clermont, nous retrouvons les indices de quelques explosions scoriformes à travers le trachyte, et en même temps nous remarquons que les cônes volcaniques se trouvent sur la grande ligne de dislocation suivie par les trachytes aussi bien que par les basaltes, et qui avait été préparée par d'autres grands événements, § 234.

§ 135. **Diorite, roches trappéennes, amygdaloïdes, etc.** — Rien de plus analogue au basalte que certaines roches noires dont les unes, d'après les nombreux passages qu'elles offrent à des dépôts où les éléments sont distincts, doivent être des mélanges d'albite et d'amphibole, et dont les autres sont de nature inconnue ou du moins assez douteuse. Les premières sont celles qu'on a désignées en France sous le nom de *diorite*, et qu'on connaît en Allemagne sous le nom de *grunstein*. Les autres sont connues depuis longtemps sous la dénomination de *trapp*, qu'on admet encore, vu l'impossibilité où l'on est de se prononcer définitivement sur leur nature, § 212 *k*. Ces roches ont des relations, tant par leurs positions dans certaines localités que par leur passage minéralogique, avec certaines matières désignées sous le nom d'*amygdaloïdes*, à cause des noyaux de diverses substances qu'elles renferment, et qui sont connues en Angleterre sous le nom de *toadstone* et de *winstone*, dont souvent la nature n'est pas mieux connue.

On a longtemps attribué à ces roches une origine aqueuse; d'un côté, parce qu'on ne trouve jamais au milieu d'elles, ni dans leur voisinage, aucun de ces accidents auxquels on s'est particulièrement attaché pour en conclure une origine ignée, c'est-à-dire ces scorifications de la roche, ces amas de scories que nous avons vus auprès des basaltes et des trachytes; de l'autre, parce qu'elles se lient intimement avec beaucoup d'autres roches qui n'offrent pas plus les caractères ordinaires des produits ignés; enfin parce qu'on les a trouvées plus tard en couches distinctes, souvent plusieurs fois répétées, au milieu même des dépôts de sédiment, d'où l'on a conclu qu'elles devaient avoir la même origine. Ces conclusions, cependant, doivent être aujourd'hui complétement rejetées, et les recherches faites par le docteur Macculloch, par M. Sedgwick et M. Conybeare, en Angleterre, en Écosse et dans les îles voisines, où les falaises présentent des facilités particulières pour ce genre

d'observations, ont réuni des faits qui ne peuvent maintenant laisser aucun doute sur l'opinion contraire.

D'abord, malgré l'absence des matières scoriacées, ces roches, et surtout celles qu'on nomme *trapps*, présentent toutes les allures des dépôts basaltiques; elles se trouvent en buttes isolées, ou en plateaux plus ou moins étendus; leur masse est souvent divisée en colonnes prismatiques, qui offrent exactement les apparences des colonnades basaltiques, des pavés des Géants et tous les accidents du basalte. D'un autre côté, ces matières se trouvent fréquemment en filons; et l'on remarque que ces filons se terminent dans le haut en une masse effilée, comme *a*, fig. 137, ou bien que dans leur trajet ils envoient de petites ramifications *b* dans les roches qu'ils traversent, de petits lopins *c*; tantôt isolés, tantôt communiquant avec la masse principale par une traînée mince. Les roches encaissantes sont quelquefois criblées de ces petites ramifications, et jusque dans les fissures les plus fines. Ces circonstances démontrent évidemment que ces filons ne sont pas des fentes remplies par le haut, et qu'on ne peut les considérer que comme des injections poussées de l'intérieur à l'extérieur avec assez de force pour pénétrer dans les plus petites fissures, pour détacher et entraîner des morceaux de la roche, qu'on trouve aussi quelquefois dans leur épaisseur comme en *d*.

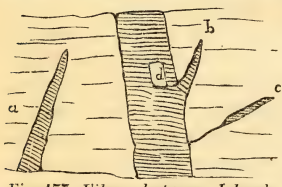


Fig. 137. *Filons de trapp, Irlande.*

Toutes ces circonstances sont exactement celles que nous avons observées dans le basalte, § 129. Il en est de même des couches en apparence réglées qu'on remarque entre des assises sédimentaires; l'observation montre encore qu'elles ne sont que des ramifications de filons : c'est ce qu'on voit clairement à Trotternish, île de Sky, fig. 138, où un gros filon de trapp communique avec une couche

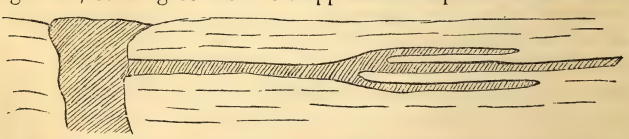


Fig. 138. *Injection de trapp dans les roches sédimentaires de l'île de Sky.*

de matière semblable qui, elle-même, se divise plus loin en trois branches, dont deux se terminent en coin. Il est évident dès lors que l'intercalation des roches trappéennes dans les couches de matières arénacées est le résultat d'une injection qui a suivi la séparation des lits du dépôt sédimentaire jusqu'à une distance plus ou

moins considérable, comme dans le cas des basaltes de Villeneuve-de-Berg, fig. 132. Il n'y a pas là plus de difficultés que pour l'injection dans une fente oblique qui couperait toutes les couches, comme on le voit dans une foule de localités, puisqu'il faut bien, dans tous les cas, que la partie supérieure soit soutenue par la force qui pousse la matière en fusion.

Nous devons remarquer enfin, pour compléter l'analogie, que les plateaux trappéens communiquent, comme les plateaux basaltiques, fig. 134, ou même les laves ordinaires, fig. 32 et 33, avec des filons qui traversent tout le terrain inférieur, et qui ont évidemment amené la matière au jour.

§ 136. Maintenant, si ces premières analogies avec les matières d'origine ignée ne suffisent pas, en voici d'autres qui viennent les compléter. Les filons de trapp ont attaqué les roches qu'ils ont traversées; ici ils ont coupé des dépôts de matières charbonneuses, et ces matières ont perdu leur bitume, sont réduites en fraisil, en coke, au contact du filon, comme on le voit dans plusieurs points du Staffordshire. Ailleurs les calcaires traversés sont devenus cristallins, saccharoïdes, jusqu'à quelque distance du contact : ils s'y trouvent remplis de grenat, de pyroxène, d'amphibole, d'analcime qu'ils ne renferment pas ailleurs, comme à Plasnewidd, dans l'île d'Anglesey, à l'île de Thirey, etc. Les argiles schisteuses sont converties en jaspes divers; les grès passent à des matières analogues, comme en plusieurs points de l'Écosse, et quelquefois ils sont convertis en quarz compacte, comme à l'île de Sky. La matière même du filon, en traversant diverses roches, paraît en avoir subi l'influence; et l'un des faits les plus intéressants est la conversion d'un filon de trapp en serpentine dans les portions de sa masse qui se trouvent encaissées dans les calcaires, comme on le voit à Clunie dans le Perthshire.

On observe des faits du même genre auprès des diorites porphyroïdes désignées sous le nom d'*ophite* dans les Pyrénées. En effet, les calcaires soulevés par ces roches deviennent cristallins et dolomitiques dans leur voisinage; ils semblent même avoir été convertis en gypse à leur contact, sans doute par l'action des matières gazeuses qui se dégageaient en même temps, car partout le gypse accompagne immédiatement les ophites, se trouve même entremêlé avec ces roches, et ne se présente nulle part ailleurs le long de la chaîne.

§ 137. **Serpentine et diallage, porphyres divers.** — Les roches magnésiennes nommées serpentines (voyez *Minéralogie*), dans lesquelles nous venons de voir un filon se transformer en traversant

un dépôt calcaire, accompagnent assez souvent les trapps et les diorites; elles forment aussi très fréquemment à elles seules les filons, autour desquels on remarque toutes les altérations de roche que nous venons d'indiquer. Mais nulle part ces faits ne se présentent plus en grand que dans la Ligurie, où les serpentines et les euphotides (mélange de diallage avec l'albite ou le labradorite) sont injectées de toutes les manières dans des dépôts calcaires qui appartiennent à la période jurassique. Tantôt elles y forment des filons, et tantôt elles présentent des couches puissantes; souvent elles offrent des brèches de toute espèce qui constituent les marbres nommés vert antique, vert d'Égypte, vert de mer, etc. Or les calcaires qui sont entremêlés avec ces roches sont tous à l'état saccharoïde, et nous offrent les plus beaux marbres statuaires, les marbres brèches les plus éclatants; cependant, en les suivant avec soin, on voit qu'ils se rattachent entièrement aux calcaires compactes, et plus ou moins terreux, des dépôts environnants dont ils sont évidemment la continuité. Les argiles schisteuses et les grès qui alternent avec ces derniers se trouvent convertis dans les autres en jaspes de diverses variétés.

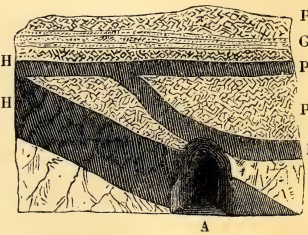
L'apparition des roches pyroxéniques, des mélaphyres et des autres porphyres qui s'y rattachent, a produit des circonstances du même genre; M. de Buch les a signalées depuis longtemps dans le Tyrol, et les a poursuivies depuis dans la Lombardie supérieure. On les retrouve encore tout le long des Alpes, et elles se représentent sur la même direction dans la Provence au milieu des montagnes de l'Esterel. Tout est bouleversé dans le voisinage de ces roches, qui, en arrivant au jour, ont soulevé autour d'elles les dépôts calcaires de diverses formations, les ont disloqués et poussés dans les positions les plus anormales. Partout au contact de ces porphyres, et jusqu'à des distances considérables, les calcaires sont transformés en dolomie, et de telle manière que les mêmes dépôts sont de calcaire simple dans une de leurs parties, et de dolomie crevassée dans celles qui se rapprochent des roches de cristallisation, fig. 139. Ce qu'il y a de plus remarquable, c'est que, dans le peu de débris organiques qu'on a rencontrés dans ces calcaires modifiés, le test même des coquilles, ou les madrépores, se trouve être chargé de magnésie : cela démontre sans réplique que la présence de cette substance est due à une action postérieure à la formation du dépôt, car il n'existe aucune coquille, aucun madré-

Fig. 139. *Dolomisation des calcaires.*

pore qui naturellement renferme de la magnésie, pas plus à l'état vivant qu'à l'état fossile, partout où le dépôt n'a subi aucune modification.

Les porphyres feldspathiques, § 212 *n*, présentent souvent aussi des caractères qui ne peuvent laisser de doute sur leur origine ignée. Non seulement on les trouve en filons au milieu de toutes les roches, mais encore ils se conduisent exactement comme les trachytes, § 133, en passant à travers des roches fissurées dont ils empâtent les fragments pour former des conglomérats; ils se lient souvent ainsi de la manière la plus intime aux dépôts arénacés qu'ils durcissent dans leur voisinage : c'est ce qu'on voit clairement dans les montagnes de l'Esterel, dans les Vosges, dans un grand nombre de localités en Allemagne, dans l'île de Sky en Écosse, etc.; et comme pour que rien ne manque à la comparaison, on reconnaît encore dans le voisinage de ces porphyres des matières vitreuses que nous avons décrites sous le nom de *rétinite* (*Minéralogie*), qui passent à des matières lithoïdes diverses, comme les obsidiennes, sans toutefois offrir de passage à la ponce, § 54.

Dans le bassin houiller de l'Arroux, au sud d'Autun, de tels porphyres ont pénétré dans le grès houiller et dans la houille même, fig. 140, et dans le voisinage le combustible est devenu sec, brillant et caverneux; le grès s'est durci, et les parties feldspathiques qu'il renferme ont été frittées La même chose est arrivée en plusieurs lieux, et c'est ainsi qu'à Schönfeld, en Saxe, les dépôts charbonneux sont passés à l'état d'anthracite par l'apparition des porphyres.



A. galerie d'exploitation.—G.grès houiller. — H. Houille. — P. Porphyre.

Fig. 140. *Dépôt houiller traversé par des porphyres.*

§ 138. **Roches granitiques.** — Il ne peut y avoir aucun doute sur la nature ignée des roches précédentes, d'après leur manière d'être injectées dans toutes sortes de dépôts, et les modifications qu'elles ont produites dans les matières qu'elles ont traversées ou soulevées. Or il en est de même des granites proprement dits, des syénites qui leur ressemblent et qui y passent souvent de toutes les manières, de toutes les roches enfin qui s'y rattachent. En effet, il résulte d'une grande masse d'observations recueillies d'abord en Angleterre par le docteur Macculloch, vérifiées, complétées depuis par beaucoup d'autres géologues, que les granites, qui sont des

roches massives et par cela même déjà distinctes des dépôts aqueux ordinairement stratifiés, § 84, se conduisent exactement dans leur apparition comme les trapps, les diorites et les porphyres.

Dans la vallée de Glen-Titt, en Écosse, le granite se trouve injecté dans des dépôts calcaires qui alternent avec les schistes argileux, fig. 141, où il pousse quelquefois des lopins séparés *a*. Ailleurs, ce sont des filons verticaux qui traversent la roche, fig. 142, tantôt en entier, tantôt en se terminant par des masses effilées, comme les diorites et les basaltes, § 129 et 135, ce qui annonce aussi que la matière est venue de bas en haut, et qu'elle a dû être poussée avec une grande force. Or, ce n'est pas seulement dans une localité particulière que de tels faits se présentent, il en a été maintenant observé dans toutes les parties du monde : dans les Pyrénées, dans les Alpes de la France, de la Savoie et de la Suisse, en Norwége, sur tous les points de l'Angleterre, dans l'Amérique septentrionale, au cap de Bonne-Espérance, etc.

Fig. 141.

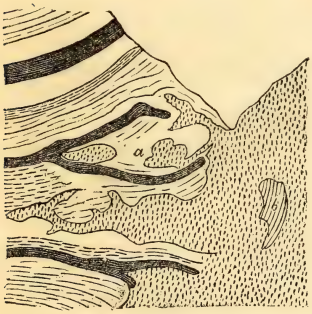
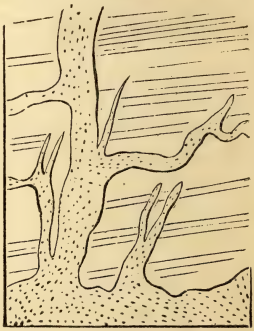


Fig. 142.



Injection du granite dans les roches diverses.

L'état de fusion pâteuse dans lequel ont été les granites est encore indiqué par la manière dont ces roches ont enveloppé les débris des terrains qu'elles ont traversés. En Bretagne, les granites, qu'on a employés à Paris pour les trottoirs, les bornes, etc., ont enveloppé des fragments anguleux de schistes, quelquefois assez nombreux pour donner à la masse l'apparence d'une brèche. Au Harz, cette roche a empâté des fragments de grauwackes schisteuses qui renferment des débris organiques. En Écosse, près de Landside, où le granite paraît avoir traversé un terrain calcaire dont il renferme des blocs, il s'est fait une brèche formée de fragments

calcaires liés entre eux par une pâte granitique; circonstance analogue à ce que nous avons cité à l'égard des trachytes et des porphyres, § 133 et 137.

Quelquefois il y a des portions assez étendues des dépôts sédimentaires qui ont été enveloppées par le granite. Ainsi, dans les houillères de La Pléau (Corrèze), au sud-est d'Ussel, § 164, une portion de terrain houiller a été enveloppée par les granites porphyroïdes de la contrée, qui se trouvent placés dès lors au-dessus et au-dessous du dépôt sédimentaire, fig. 143.

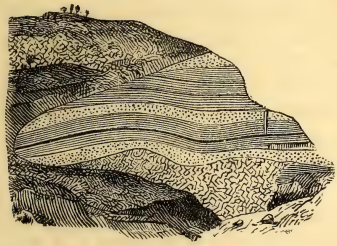


Fig. 143. *Dépôt houiller enclavé dans le granite.*

Fig. 144. *Superposition du granite aux couches sédimentaires.*

L'épanchement des granites sur les terrains qu'ils ont traversés est encore une nouvelle preuve de leur fusion. Or, aujourd'hui on voit ces roches dans un grand nombre de lieux superposées çà et là à tous les dépôts de sédiment; dans les Alpes on les voit épanchés jusque sur les terrains jurassiques, et l'on peut, en divers points, toucher à la fois la roche cristalline et le dépôt sédimentaire sous-jacent, fig. 144.

§ 139. L'action des roches granitiques sur celles qu'elles ont traversées est encore la même que pour toutes les roches précédentes; les calcaires compactes, oolitiques, terreux, sont convertis en calcaires saccharoïdes, où les débris organiques ont le plus souvent disparu; ils ont pris des couleurs vives de toute espèce : vert, rouge, noir, etc., se sont remplis, au contact, de mica, de grenat, d'amphibole, et de diverses autres substances cristallines. Souvent ils ont été convertis en dolomies, qui sont très abondantes autour des granites dans les Alpes et les Pyrénées, et quelquefois en gypse, comme le prouvent les masses de cette substance dont on voit les affleurements dans certains cirques des Alpes, tandis que sur leur prolongement dans les vallées voisines on ne voit plus que des calcaires purs et simples. Les argiles et diverses matières aré-

nacées sont converties en jaspes, ou bien se remplissent des diverses substances que nous venons de citer, et prennent enfin les caractères des schistes micacés, des schistes talqueux et des gneiss; les matières charbonneuses, qui se rapportent à cet âge ont pris les caractères de l'anthracite, comme on le voit surtout dans les Alpes, et les grès sont devenus des couches de quarz grenu à l'approche des matières granitiques. Il arrive quelquefois que les grès schisteux modifiés conservent encore la structure arénacée, quoique les matières aient souvent pris beaucoup de solidité; les micaschistes mêmes auxquels ils passent renferment encore çà et là des strates minces de quarz sableux, interposés entre les lames de mica, qui semblent annoncer les restes des anciens grès modifiés: c'est ce qui a été observé depuis longtemps par Playfair dans les Grampians en Écosse, et ce que rappelle aussi le peu de solidité qu'offrent par places les schistes micacés des montagnes des Maures, entre Toulon et Antibes, aussi bien que ceux qu'on désigne au Brésil sous le nom d'*itacolumite*, qui passent au grès par toutes les nuances.

Les roches granitiques, qui se rapportent à différents âges, comme nous le verrons plus tard, § 213, sont très abondantes à la surface du globe, formant tantôt des chaînes de montagnes élevées, et tantôt des collines arrondies, désagrégées à la surface, qui couvrent des étendues considérables. En France, nous voyons ces roches sur une grande partie de la Bretagne, dans le Limousin, l'Auvergne, le Gévaudan, dans les Pyrénées, dans le Dauphiné, où elles se lient avec celles des Alpes de la Savoie, au centre de la Bourgogne, dans les Vosges, d'où elles se prolongent de l'autre côté du Rhin dans la Forêt-Noire, § 216.

§ 140. **Gites métallifères, filons, amas.** — La dolomisation et la sulfatisation des calcaires, la présence de diverses substances dans les roches adjacentes, ne sont pas les seuls faits qui se rattachent à la sortie des roches ignées du sein de la terre. Il arrive aussi, fig. 145, qu'au contact de la nouvelle roche et des anciennes, les dépôts se remplissent de divers minerais métalliques, soit disséminés, soit injectés dans les fissures et entre les couches, ou enfin rassemblés en petits amas quelquefois liés entre eux par de minces filets: c'est ce que M. Dufrénoy a fait remarquer à l'égard des minerais de fer qui existent dans les Py-

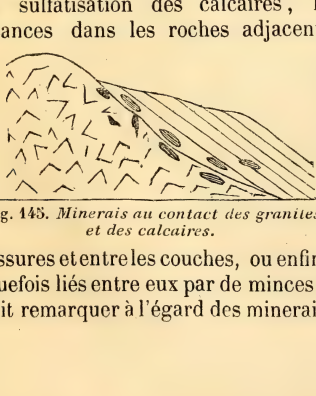


Fig. 145. *Minerais au contact des granites et des calcaires.*

rénées, et qu'on trouve placés soit dans les calcaires, soit entre ces dépôts sédimentaires et le granite qui en a soulevé la masse consolidée. C'est ce qui existe encore dans un grand nombre de localités pour des minerais de toute espèce qu'on trouve à la jonction des matières cristallines et des dépôts de sédiment divers, tels que les arkoses de divers âges qui entourent le plateau granitique du centre de la France, ou bien les calcaires qui les recouvrent; on en retrouve de même à la jonction des granites ou des porphyres avec les gneiss et les schistes argileux qu'ils ont soulevés, ou pénétrés, dans un grand nombre de lieux.

Ce sont là des gîtes de minerais évidemment en relation avec les actions ignées. Quant à ceux qui sont en filons, il est d'abord à remarquer qu'on n'a jamais eu l'occasion de les poursuivre assez loin dans la profondeur pour savoir s'ils s'y terminent en coin, et par conséquent s'ils remplissent des fentes ouvertes par le haut, tandis qu'on en a vu se terminer en masses effilées dans la partie supérieure, comme à Joachimstal en Bohême, et dans un grand nombre d'autres lieux. Cette dernière circonstance conduit déjà à penser que les filons métallifères ont été produits, aussi bien que les filons pierreux précédents, § 129 à 138, par une injection de l'intérieur à l'extérieur. Mais il y a plus, les deux sortes de filons ont la plus grande liaison entre eux: ainsi, à Pongibaud, les mêmes filons sont tantôt granitiques et tantôt métallifères; dans beaucoup d'autres lieux, des filons métallifères accompagnent des filons porphyriques ou même basaltiques, comme en Bohême, et les deux matières se pénétrant mutuellement, c'est tantôt l'une, tantot l'autre qui prend le dessus. D'un autre côté, on trouve très fréquemment dans diverses localités des filons pierreux et des filons métallifères qui tantôt marchent parallèlement les uns aux autres, tantôt se croisent de différentes manières, se rejetant les uns les autres de côté, et se produisent ainsi mutuellement des failles, fig. 146. Tantôt ce sont des filons pierreux qui dérangent les filons métalliques; tantôt, au contraire, ce sont ces derniers qui déroutent les autres: en tout ils se conduisent exactement de la même manière, et il devient impossible de penser qu'ils n'aient pas la même origine. Remarquons aussi qu'en général les filons

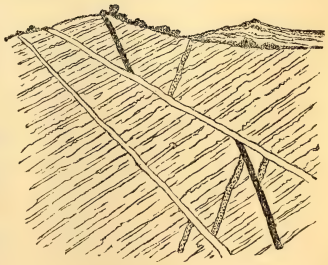


Fig. 146. *Failles de filons.*

suivent les grandes lignes de dislocation de la croûte terrestre ; ainsi, en Auvergne, les principaux filons suivent la grande ligne de dislocation par les fentes de laquelle la chaîne des Puys s'est fait jour, § 234 ; dans les Vosges, ils sont parallèles à la grande faille qui termine cette chaîne de montagnes, § 223, 229 ; partout, enfin, l'on reconnaît que la présence de ces dépôts coïncide avec les lignes diverses des soulèvements qui ont agité le globe, ce qui fournit un puissant secours dans leur recherche.

On trouve dans les filons métallifères l'influence de ceux qui les traversent ou les longent, et qui viennent y jeter, jusqu'à une certaine distance, des matières qu'on n'y observait pas auparavant. L'influence de la roche traversée se fait aussi bien sentir sur les filons métallifères que sur ceux de trapp, § 136 ; et c'est un fait connu depuis longtemps des mineurs qu'un filon pauvre, dans une couche déterminée, augmente tout-à-coup de richesse en pénétrant dans un autre, ou réciproquement ; de là les succès subits et les revers imprévus des exploitations.

§ 141. — Les amas métallifères n'étant en général qu'une accumulation de petits filons dirigés dans tous les sens, fig. 147, ou une dissémination abondante au milieu d'une matière pierreuse de l'espèce de celles que nous devons attribuer à la voie ignée, il est clair que ces dépôts sont produits comme ceux dont nous venons de parler. Ces amas, dont les principaux nous offrent des minerais d'étain, de cuivre pyriteux, de fer magnétique, ont pour masse principale des granites, des porphyres, des roches magnésiennes diverses, dans lesquels se trouvent les minerais. L'amas métallifère de Zinwald en Bohême offre un granite particulier encaissé dans un porphyre ; celui d'Altemberg, en Saxe, est une masse porphyrique encaissée dans du gneiss. Le célèbre amas de fer magnétique du Taberg, en Suède, est une masse de diorite enfermée dans le gneiss ; celui de Cogne, en Piémont, est une masse de serpentine enclavée dans du schiste micacé calcarifère. Ces amas sont souvent peu profonds : aussi est-il arrivé quelquefois que, faisant peu d'attention à la roche encaissante pour suivre quelques veines qui s'y introduisent accidentellement, on a été sur le point d'abandonner l'exploitation dont on avait dépassé la partie productive ; c'est ce qui est arrivé à Joachimstal en Bohême.

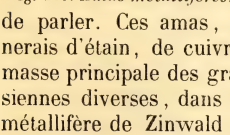


Fig. 147. *Amas métallifères.*

Les gîtes métallifères en couches réglées ne sont que des filons qui ont suivi la stratification du terrain, comme nous l'avons vu pour les trapps. § 135, ou bien, comme ci-dessus, des dépôts qui se

sont formés au contact des couches sédimentaires et des matières en fusion qui les ont soulevées.

Nous devons nous borner ici à une indication générale, et renvoyer pour les détails au travail de M. Fournet, *Etudes des dépôts métallifères*. Mais il est nécessaire d'ajouter un mot pour ne pas laisser confondre les amas et les filons dont nous venons de parler, avec certains dépôts de minerais de fer oolitique qui se trouvent dans les terrains de sédiment. Parmi ceux-ci, les uns forment des couches plus ou moins étendues au milieu des formations calcaires, les autres ont rempli des fentes élargies dans le haut et peu profondes, qui communiquent parfois à des cavernes, fig 148; ce sont alors des faits d'un ordre tout différent de ceux que nous avons décrits, et dont nous aurons plus tard l'occasion de parler.

Fig. 148. *Remplissage des fentes par l'extérieur.*

§ 142. **Conclusion générale ; métamorphisme.** — De tous les faits que nous venons de citer, et dont nous aurions pu augmenter prodigieusement le récit par les détails que présentent les nombreuses localités où l'on peut en observer de semblables, il faut évidemment conclure que les roches cristallines, qui toutes sont formées par des silicates extrêmement variés et mélangés entre eux, ont été produites par la voie ignée; qu'à différentes époques elles ont disloqué, soulevé, bouleversé tous les dépôts de sédiment, en ont modifié la masse de toutes les manières, et que c'est à ces grands phénomènes que sont dus et tout le désordre apparent qu'on observe à la surface du globe, et tous les changements successifs dont on aperçoit les traces à chaque pas.

Lorsqu'on a vu, § 130 à 136, 137, 139, les calcaires terreux ou compactes devenir cristallins à l'approche de ces diverses sortes de roches, se remplir de substances diverses qu'ils ne contiennent plus à une certaine distance, se charger de magnésie en se fendillant de toutes parts, et se changer en dolomie, comme ailleurs ils se changent en gypses; lorsque les argiles schisteuses, les matières arénacées, sont converties en jaspes divers, se chargent de mica, d'amphibole, et prennent les caractères du gneiss, des schistes micacés et talqueux; lorsqu'enfin les grès sont devenus des bancs de quarz grenu, peut-on trouver étonnant que la plupart des géologues actuels adoptent l'idée de changements complets opérés dans un grand nombre de dépôts de sédiment, et qu'on s'appuie sur ce *métamorphisme*, aperçu depuis longtemps par Hutton, Playfair et le docteur Macculoch, pour expliquer une multitude de faits que

nous présentent les dépôts anciennement désignés sous les noms de terrains primitifs et de terrains de transition? On peut être conduit à supposer quelquefois un peu d'exagération, tant les faits paraissent extraordinaires; mais il faudrait se refuser à l'évidence pour nier qu'il y a des calcaires saccharoïdes, des dolomies, des roches schisteuses plus ou moins cristallisées qui résultent d'un changement opéré sur des calcaires terreux ou compactes, sur des argiles, des sables, etc., formés par sédiment; est-il donc alors si ridicule de penser que telle en a toujours été l'origine?

Ces idées, devenues plus frappantes aujourd'hui, parce qu'elles sont exprimées par un mot propre, ne sont cependant pas absolument nouvelles; tous les ouvrages de géologie en sont réellement remplis, et les faits n'y sont pas moins remarquables, quoique exposés en d'autres termes. Il n'y a pas une description de contrée, en remontant même au temps de Saussure, dont les travaux sont encore si remarquables par la fidélité des détails, où l'on ne cite expressément les passages nombreux de divers dépôts arénacés aux roches de cristallisation, des grauwackes schisteuses aux schistes talqueux, aux schistes micacés, et de ceux-ci au gneiss, ou bien le passage des grès de diverses sortes aux granites et aux porphyres sur lesquels ils s'appuient, etc. N'est-ce pas là reconnaître positivement le fait des modifications que nous nommons aujourd'hui *métamorphisme*, et auquel seulement le temps a permis de joindre plus de détails et plus de précision?

Il est certain qu'en partant par exemple des grauwackes schisteuses, et se dirigeant vers quelque montagne, quelque îlot de cristallisation, on voit ces matières prendre des caractères plus cristallins, et quelquefois, sans perdre les débris organiques qu'elles renferment, se remplir de substances minérales nouvelles; c'est ainsi qu'en Bretagne ces schistes se remplissent de macles, quelquefois de staurotides auprès de tous les dépôts granitiques. Ailleurs, comme dans les Vosges, dans les montagnes du Var, on les voit passer au micaschiste, et celui-ci au gneiss, qui arrive insensiblement au granite. Or, comme si la liaison intime qu'on aperçoit ne suffisait pas, ces micaschistes, puis les gneiss eux-mêmes, renferment des veines de schiste carburé ou de graphite, même des veines d'anthracite qui rappellent les dépôts qu'on trouve plus loin dans les grauwackes, et qui sont assez marquées pour avoir déterminé des recherches de combustible.

Il est donc évident que toutes les roches que nous venons de citer, quelles que soient les différences qu'elles présentent, ne sont que des modifications, des métamorphoses d'un seul et même

tout; et, comme c'est en approchant des roches granitiques, produites évidemment par la voie ignée, que ces métamorphoses deviennent de plus en plus marquées, il est clair que c'est à l'influence de ces dernières qu'elles sont dues. La même influence se manifeste sur les grès des divers âges dans les points où ils sont en contact immédiat avec les granites: les modifications sont telles qu'on a même donné à ces matières un nom particulier, celui d'*arkose*. D'un côté, elles passent alors par toutes les nuances au granite; de l'autre elles se remplissent de substances diverses qu'elles ne renferment pas ailleurs, et qui sans doute y sont venues après coup, § 104, par l'action des sources thermales, ou par des injections diverses : c'est ce qu'on voit, par exemple, dans les Vosges pour le grès houiller et le grès rouge, dans les Cévennes pour le grès bigarré, en Bourgogne pour le grès du lias, dans le Velay pour les grès tertiaires en quelque sorte les plus récents.

Auprès des éjections porphyriques, les schistes présentent fréquemment des modifications d'un autre genre. On voit alors les parties les plus évidemment sédimentaires passer par degrés à des matières compactes feldspathiques, qui conservent plus ou moins leur schistosité, et qui finissent par renfermer des cristaux de feldspath; ailleurs, ces mêmes matières passent à des argiles solides renfermant des veines calcaires, puis des noyaux de la même substance, et qui prennent tous les caractères des amygdaloïdes, ne perdant que petit à petit leur structure schisteuse : c'est ce qu'on voit dans la Bretagne, dans les Ardennes, dans le Forez, dans les montagnes de Tarare, etc.

Les mêmes phénomènes se font remarquer entre les grès divers et les porphyres qui les ont traversés. La matière arénacée se durcit successivement, prend plus de compacité, et se lie enfin de telle manière avec le porphyre, que l'on ne sait où l'un commence et l'autre finit : c'est ce qu'on voit en France dans les Vosges, dans le Morvan, dans les montagnes du Var.

Tous ces faits appartiennent réellement, à quelques détails près, à l'ancienne géologie, et il n'y a que la manière de les concevoir qui soit changée. Tout se réunissant pour démontrer que les matières cristallines ont été produites par la voie ignée et poussées à travers les dépôts de sédiment, nous comprenons aujourd'hui que ceux-ci ont été modifiés, métamorphosés de différentes manières par leur influence, et d'autant plus qu'elles en sont plus rapprochées : ce n'est qu'à des distances plus ou moins étendues que les effets ont complétement cessé.

§ 143. On conçoit une partie de ces métamorphoses des ter-

rains de sédiment par une simple action de la chaleur sans fusion nouvelle, mais suffisante pour modifier la texture des masses, réunir même les éléments en d'autres proportions, comme il arrive lorsqu'on soumet un verre transparent à une température insuffisante pour le fondre, et dans lequel cependant il se fait des cristallisations nouvelles. Mais cette première idée ne suffit pas seule, et il faut concevoir une autre action, dont on ne peut encore se rendre exactement compte, en vertu de laquelle des substances particulières ont pu être portées, ou développées, au milieu des dépôts qui se trouvaient dans le voisinage des matières expulsées du sein de la terre. On conçoit facilement l'introduction de l'acide sulfurique qui se produit fréquemment dans les phénomènes volcaniques; mais on ne comprend pas également celle de la magnésie et des diverses espèces de silicates, et à leur égard tout est encore purement hypothétique. Toutefois on peut déjà comparer ces faits à la *cémentation*, au moyen de laquelle on convertit le fer en acier ; phénomène qui ne se manifeste pas seulement au contact des matières charbonneuses, mais qui se prolonge au loin dans l'intérieur de la masse ferrugineuse, et qui a même lieu à distance, comme il résulte des observations de M. Laurent, par lesquelles on voit que le carbone peut même pénétrer jusqu'au fer à travers des tubes de porcelaine. On sait aussi, par les expériences de ce savant, comme par beaucoup d'effets observés dans les usines, que le peroxyde de fer, les oxydes de chrome, etc., se volatilisent et pénètrent dans la masse des corps qui les enveloppent. Enfin les expériences de M. Gaudin, au chalumeau à mélange détonant, ont fait voir que la silice, la magnésie, la chaux, sont aussi des oxydes volatils ; le premier à la température de fusion, les autres avant de se fondre. Ce sont là évidemment des faits qui conduisent à l'explication de tous les phénomènes de métamorphisme et d'intrusion des matières étrangères dans les dépôts de sédiment, soit en filons, soit à l'état de dissémination.

EFFETS ATTRIBUABLES A L'ÉROSION DES EAUX.

§ 144. **Morcellement des terrains.** — Nous avons vu les eaux agir par l'acide carbonique qu'elles renferment, par leur poids, par leur action délayante, par les mouvements de translation qu'elles peuvent avoir, par leur choc, comme dans les vagues de la mer, et dégrader ainsi nos continents, § 67 à 78. Nous avons même fait observer qu'il y avait dans les terrains arénacés des vallées pro-

duites évidemment par érosion, § 122, 123, précisément comme les ravins qui se forment journellement dans les terrains sableux par l'action des eaux de pluie. On peut inférer de là que dans chacun des bouleversements que les mouvements divers du sol ont nécessairement déterminés, les eaux, jetées brusquement tantôt d'un côté, tantôt d'un autre, ont dû, comme de nos jours pendant les tremblements de terre, § 21, ravager, morceler, modifier de toutes les manières les dépôts préexistants. Beaucoup de circonstances peuvent donc être expliquées par l'érosion des eaux et les *dénudations* qu'elles ont pu opérer.

D'abord, lorsque nous voyons dans une contrée des buttes plus ou moins nombreuses de matières sédimentaires, fig. 149, dont les

Fig. 149. *Collines produites par dénudation.*

sommets se trouvent au même niveau, et dont les couches se correspondent, nous sommes naturellement portés à les considérer comme les témoins de grands déblaiements que les eaux ont opérés à de certaines époques, dont il reste ensuite à chercher les dates relatives. C'est ainsi que nous pouvons expliquer, selon toute vraisemblance, toutes les découpures que présentent les grès sur la pente orientale des Vosges; cet assemblage si remarquable de quilles de toutes les formes qu'on voit à Adersbach en Bohême; les buttes nombreuses qui couvrent le Ross-Shire en Ecosse; les buttes gypseuses des environs de Paris, toutes composées des mêmes couches placées à la même hauteur; le morcellement des plateaux basaltiques qui couronnent les collines dans certaines localités; enfin la rupture de certaines coulées de lave qui avaient barré les vallées, comme celles de la Sioule et de la Mone en Auvergne, ou même les avaient remplies, comme en certaines parties du Vivarais, § 125, où le déblaiement a dû s'opérer sur la largeur en laissant des témoins de chaque côté, fig. 135.

Les vallées qui découpent nos terrains meubles sont évidemment produites de la même manière, et il n'est pas douteux que la plupart de celles qui sillonnent les terrains solides n'aient été modifiées par l'érosion des eaux après les ruptures qui leur ont donné naissance; c'est ainsi que nous pouvons expliquer l'adoucissement de toutes leurs parois dans un grand nombre de localités. Les grands lacs qui se trouvent parfois à leur extrémité, comme sur les deux

pentes des Alpes en Suisse et en Piémont, peuvent être attribués à l'affouillement des eaux qui les parcouraient au moment de quelque grande catastrophe, et venaient déboucher avec violence dans la plaine qui les termine.

§ 145 Une multitude d'autres faits trouvent aussi leur explication dans la force d'érosion et d'entraînement des eaux. Lorsque, dans l'intérieur des mines, nous voyons des couches qui ne se correspondent plus, et que dès lors une partie du terrain a dû être soulevée, fig, 150, nous nous demandons naturellement, si le pays

Fig. 150.

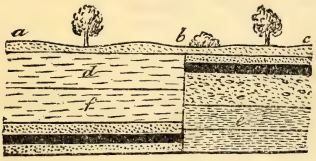
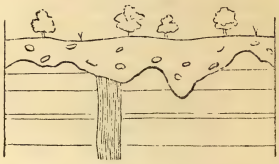


Fig. 151.



est plat, ce que sont devenues les couches *d* et *f* qui devaient former un monticule entre *b* et *c*. Il est clair qu'elles ont dû être déblayées, ce qu'on ne peut concevoir que par une action postérieure des eaux qui en auront emporté les débris. De même, quand nous voyons un filon présenter une saillie, un dike à la surface du sol, fig. 34, nous concevons qu'il n'a pu se former ainsi, et que la partie découverte a dû être jadis encaissée comme celle qui l'est encore aujourd'hui; le terrain environnant a donc été enlevé après coup, au moins sur toute la hauteur actuelle de la saillie. Il s'est passé nécessairement quelque chose de semblable dans les points où des filons affleurent à la surface du sol, ou sont recouverts de matières meubles, fig. 151; il n'est pas probable que les matières en fusion injectées dans la fente se soient immédiatement arrêtées à fleur de terre, et il est à présumer que les terrains ont été démantelés, puis recouverts postérieurement par des déblais divers. Nous sommes ainsi conduits à comprendre comment tant de masses basaltiques n'offrent plus aujourd'hui aucune trace des matières scoriacées dans leur voisinage, § 126, 127. Ces débris mal agrégés ont été sans doute entraînés postérieurement par l'action des eaux, et peut-être en est-il de même des scories qui auraient pu accompagner l'apparition des trapps, § 135.

§ 146. L'action prodigieuse que nous avons vue exercée par les vagues, et les résultats qu'elle a produits de nos jours, nous con-

duisent à penser aussi que tous les lambeaux de roches qui forment partout des îles et des écueils à peu de distance des côtes, ou des groupes souvent bizarres au milieu des mers, sont également les restes de quelques grands morcellements opérés par les eaux, tant dans les matières faciles à désagréger que dans les masses fissurées par les divers mouvements du sol, dont certaines parties ont été enlevées postérieurement, soit par le choc répété des flots, soit par des débâcles subites. C'est ainsi qu'on peut expliquer ces accidents nombreux des rochers qui bordent les côtes ou qui sont isolés au milieu des mers, comme dans les falaises de craie d'Étretat, fig. 152, et les découpures des roches porphyriques ou granitiques des îles Schetland, fig. 153, dont nous avons déjà produit des exemples, § 78. On conçoit, enfin, que des détroits plus ou moins étendus aient pu se former par les deux actions combinées des courants d'eau et des déchirures que le sol a pu subir, par soulèvement ou affaissement, à des époques déterminées.

Fig. 152.

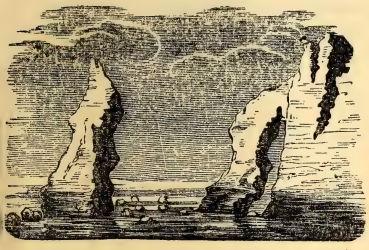


Fig. 153.

Exemples de roches découpées et façonnées par les eaux.

On voit par toutes ces observations qu'on peut attribuer à l'action des eaux une multitude de faits que nous ne saurions expliquer autrement. Nous pouvons, en effet, discerner leurs dégradations au milieu des montagnes et des vallées, reconnaître l'action des courants par les sillons qu'ils ont tracés sur leur route. découvrir les anciennes falaises qui bordaient les mers aux différents âges, et par là apprécier leurs limites aussi bien que par toutes les autres circonstances. Toutefois la pensée doit soigneusement restreindre l'action immédiate des eaux aux matières meubles ou peu cohé-

rentes qui se trouvent à la surface du globe ; car lorsqu'il s'agit des matières dures qu'elles attaquent lentement, § 77, on est conduit à concevoir que les courants et les vagues n'ont pu agir efficacement que quand les terrains avaient été préalablement disposés par les fissures, ou les détériorations diverses, que les mouvements du sol ont occasionnées dans les roches.

§ 147. **Usure, sillonnement, transport.** — Lorsque nous voyons certaines montagnes, comme dans le Jura suisse, et dans les Alpes, avoir leurs surfaces moutonnées, polies, striées, cannelées sur des étendues plus ou moins considérables, nous pouvons supposer, soit que des glaciers ont existé dans ces lieux, y ont produit des effets analogues à ceux qu'on attribue à leur glissement, § 76 ; soit que des courants chargés de débris divers qu'ils entraînaient ont passé en un certain moment sur ces terrains. Lorsque, sur des étendues considérables, comme en Suède, en Finlande, en Laponie, en Angleterre, dans l'Amérique du Nord, etc., nous trouvons des montagnes usées à la surface, façonnées suivant une forme allongée et dans une certaine direction, creusées de sillons parallèles souvent profonds, nous ne pouvons nous empêcher de concevoir de grands courants charriant des matières solides, rochers ou glaçons, qui ont produit ces effets. De même, quand nous voyons des blocs de roches plus ou moins volumineux, qui sont jetés au hasard sur toute espèce de terrain, loin des lieux d'où ils peuvent provenir, nous sommes naturellement conduits à des idées de transport par des courants s'ils sont arrondis, par des glaçons ou des torrents boueux si leurs bords sont aigus, § 72 à 74, ou enfin par des glaciers si leur accumulation, leur dispersion, peuvent rappeler les moraines, § 73 à 76.

§ 148. **Morcellement des dolomies.** — Il ne faut pas confondre avec les morcellements produits par les eaux certains accidents qui peuvent résulter des retraits occasionnés par métamorphisme : c'est ce qui a lieu probablement dans les dolomies qui font suite au calcaire compacte en un grand nombre de lieux, comme dans le Tyrol et dans les Cévennes. Les masses de ces matières sont fréquemment fendillées, déchiquetées de toutes les manières à la surface, surtout au sommet des montagnes ou des plateaux, à peu près comme les dépôts calcaires découpés par les eaux. Or le changement du carbonate simple en double carbonate, spécifiquement plus pesant, nécessite la contraction des masses soumises à la dolomisation ; par conséquent celles-ci ont dû se fendre et se fissurer dans tous les sens, et les dégradations qu'elles nous présentent ne sont que la suite de ces effets.

COMPOSITION DE LA CROUTE TERRESTRE.

§ 149. **Division générale.** — D'après tout ce que nous avons dit, on doit déjà comprendre qu'il y a lieu de distinguer deux sortes de produits très différents dans la partie solide du globe qui peut être soumise à notre observation : les uns ont été formés par sédiment, et consistent principalement en cailloux roulés, en sables, limons et calcaires, qui offrent un grand nombre de variétés; les autres, formés par fusion à l'intérieur du globe, ont été expulsés au dehors, et présentent des granites avec toutes leurs modifications, des porphyres extrêmement variés, différentes roches compactes, et généralement des silicates de toute espèce, rarement seuls, mais le plus souvent mélangés de toutes les manières. Ces deux sortes de produits sont fréquemment entremêlés dans la nature, et les premiers subissent presque toujours alors des modifications telles que dans le principe on ne les a pas distingués des seconds, et que, plus tard, on en a fait une classe de terrains particuliers dans laquelle tous les âges se trouvaient confondus : c'était la classe des *terrains de transition ;* expression dont il faut oublier aujourd'hui l'ancienne valeur, aussi bien que celle de *terrains primitifs* qui est tout aussi inexacte.

Pour faire connaître la nature et les dispositions relatives des diverses matières dont se compose la croûte terrestre, nous ne distinguerons que les deux sortes de dépôts dont nous venons de parler ; nous commencerons par les terrains de sédiment, dont la série est très régulière quand on fait abstraction des matières cristallines qui s'y sont introduites à diverses époques.

TERRAINS DE SÉDIMENT.

§ 150. **Coup d'œil général.** — Les plus anciens dépôts de sédiment remontent certainement à une époque extrêmement reculée; il a dû s'en former dès le moment où l'eau a pu rester liquide à la surface du globe, et les premiers ont dû se placer sur la pellicule refroidie et disloquée au-dessus de la matière en fusion, § 92. Mais bien que nous apercevions des dépôts très anciens relativement a

ceux qui terminent nos continents, il n'est pas probable que nous soyons encore parvenus à ceux des premiers âges, qui se seront faits sans doute avant toute création organique. Les plus anciens sédiments que nous ayons pu reconnaître jusqu'ici, renferment, en effet, des débris de mollusques et de zoophytes qui n'auraient pu vivre ni à la température de la mer primitive, ni dans la solution saline qu'elle devait offrir alors, par suite des matières dégagées de la croûte consolidée qui venait d'envelopper le globe, et qui devait agir comme les laves en se refroidissant, § 60.

Quoi qu'il en soit, on observe distinctement un certain nombre de dépôts sédimentaires entre les plus modernes, qui se continuent de nos jours, et les plus anciens que nous puissions apercevoir. Ces dépôts sont superposés les uns aux autres dans un ordre constant; et, s'il était possible de faire une tranchée suffisante dans une partie du globe où ils seraient tous rassemblés, on aurait les dispositions successives que présente le tableau ci-joint, où l'on voit vingt-sept étages principaux qui se distinguent par différents caractères. Mais il est à remarquer que chacun de ces grands dépôts se divise et se sous-divise fréquemment encore en assises diverses, plus ou moins distinctes, composées le plus souvent de matières arénacées, d'argile et de calcaire, qui offrent divers degrés de consistance, et forment des couches plus ou moins épaisses. L'ensemble de leurs lits alternatifs donne souvent aux étages successifs plusieurs centaines de mètres de puissance.

Il est clair que s'il existait de pareilles tranchées à la surface du globe, on pourrait en relever toutes les couches et en distinguer les âges relatifs par des numéros d'ordre, la plus profonde étant la plus ancienne, et celle de la surface étant la plus moderne. Il suffirait alors, dans les tranchées de profondeurs diverses qu'on rencontrerait ailleurs, de compter de haut en bas pour savoir toujours où l'on se trouve, et les variations mêmes qu'une couche déterminée pourrait subir en différents lieux n'apporteraient aucune difficulté dans l'observation. Mais il n'en est pas ainsi : les escarpements que nous rencontrons n'offrent toujours qu'une très petite portion de la série, tantôt dans une partie de son épaisseur, tantôt dans une autre ; jamais on ne voit la série tout entière, et ce n'est qu'en combinant les observations recueillies en différents lieux qu'on est parvenu à l'établir telle que nous la connaissons aujourd'hui, en même temps qu'on a reconnu les circonstances particulières de formation de chaque dépôt.

On conçoit, par suite du morcellement de l'ensemble, qu'il puisse devenir souvent très difficile de se reconnaître, et qu'en

Tableau des dépôts sédimentaires principaux.

	Alluvions modernes. Alluvions anciennes.
Dépôts de la Bresse, collines subapennines, gypse.	Terrain subapennin.
Faluns, molasse et nagelflue, gypse d'Aix.	Terrain de molasse.
Gypse parisien calcaire grossier, argile.	Terrain parisien.
Craie blanche. Craie marneuse.	Terrain crétacé supérieur.
Craie-tuffeau. Craie verte. Grès vert. Dépôts néocomiens.	Terrain crétacé inférieur.
Groupe portlandien. Groupe corallien. Groupe oxfordien. Grande oolite. Lias.	Terrain jurassique.
Marnes irisées. Calcaire conchylien. Grès bigarré.	Terrain de trias.
Grès vosgien. Calcaire pénéen. Grès rouge.	Terrain pénéen.
Grès houiller. Calcaire carbonifère.	Terrain carbonifère.
Vieux grès rouge. Grès divers. Schistes anthraciteux.	Terrain devonien.
Calcaires et schistes micacés.	Terrain silurien.
Schistes micacés, calcaires, gneiss.	Terrain cambrien.
	Matières inconnues, peut-être primitives.

présence d'un escarpement on soit fréquemment, au premier abord, dans l'impossibilité de se prononcer sur le point de la série auquel il doit être rapporté. En effet, d'un côté, les différentes couches de même nature qui se succèdent dans cette série ont souvent entre elles les plus grandes analogies, les calcaires d'un étage ressemblant plus ou moins à ceux d'un autre, et les différents dépôts de grès et d'argile se trouvant dans le même cas. D'un autre côté, il arrive au contraire que le même dépôt varie souvent d'un point à un autre : ici c'est un calcaire compacte, là un calcaire terreux ; ailleurs le même calcaire se trouve mêlé de sables, et plus loin il n'offre plus que le sable à peu près pur, etc. L'injection des matières cristallines vient ajouter à l'embarras par les modifications de texture, de nature même (§ 130, 136 à 142) qu'elle peut avoir fait éprouver à tout ce qui l'avoisine. On conçoit d'ailleurs que, moins on trouve de couches superposées dans le même lieu, plus les difficultés augmentent, et qu'elles sont au maximum lorsqu'on ne voit qu'un dépôt isolé, sans savoir sur quoi il repose et sans qu'on aperçoive rien qui le recouvre : or c'est ce qui se présente dans un grand nombre de contrées. Ajoutons qu'il arrive assez souvent qu'une ou plusieurs des couches sédimentaires manquent complétement dans certaines localités (ce qui tient à ce que le dépôt précédent s'est trouvé soulevé au-dessus des eaux au moment de leur formation) et que si (après un affaissement) il vient à se former ensuite quelques couches postérieures, l'observateur est exposé à attribuer à celles-ci un âge fort différent de celui qu'elles ont réellement.

Pour sortir de ces embarras, nous avons les observations de continuité des couches, qui permettent quelquefois d'en suivre quelques unes depuis les points où elles présentent certains caractères jusqu'à d'autres où elles offrent des caractères différents, depuis les points où elles sont complétement isolées jusqu'à d'autres où l'on peut voir sur quoi elles reposent et par quoi elles sont recouvertes, etc. C'est ainsi, par exemple, que, partant des dépôts jurassiques qui bordent les Alpes, nous arrivons par continuité, au milieu de ces montagnes, jusqu'à certains dépôts de marbres et de schistes talqueux que nous sommes conduits à identifier avec les calcaires compactes, les argiles schisteuses, etc., qui composent les premiers. C'est ainsi qu'en suivant la craie de la Champagne, de la Picardie, etc., qui paraît complétement isolée de tout autre dépôt, nous parvenons à la voir d'une part s'appuyer sur les grès verts qui reposent eux-mêmes sur le calcaire jurassique, et de l'autre passer sous les calcaires parisiens.

Nous avons aussi les observations de *stratification* et d'*inclinaison* des diverses couches vers un point ou vers un autre, qui nous permettent souvent de conclure que telle espèce de dépôt passe au-dessus ou au-dessous de tel autre, qu'on trouve isolé ou à distance. Les fragments et les cailloux roulés peuvent évidemment indiquer la postériorité des dépôts qui les renferment à ceux dont ils proviennent, et fournir ainsi un très bon moyen de distinction lorsqu'ils sont suffisamment caractérisés. Enfin la nature des débris organiques que renferment les divers dépôts est devenue aujourd'hui d'un très puissant secours pour se reconnaître au milieu du dédale des diverses formations.

§ 151. **Diverses sortes de stratifications.** — On nomme stratification l'arrangement par couches successives des différents dépôts sédimentaires qui se sont formés les uns après les autres. Il y a, en général, parmi les dépôts que l'on rencontre à la surface du globe, deux sortes de stratifications : l'une horizontale, qui est la stratification naturelle suivant laquelle toutes les matières de transport se déposent sous les eaux ; l'autre plus ou moins inclinée, et résultant des soulèvements qui ont eu lieu à diverses époques, § 113. Dans celle-ci, il faut distinguer le *degré de l'inclinaison*, qui peut varier jusqu'à la verticale, et le *point de l'horizon vers lequel plongent les couches*. Cette dernière partie de l'observation détermine la direction des crêtes des couches, ou, comme l'on dit, la *direction des couches*, qui est toujours perpendiculaire au sens d'inclinaison, et qui indique aussi la direction du mouvement par lequel l'effet a été produit. Mais ces premières observations générales, de couches horizontales ou inclinées, ne suffisent pas toujours ; il y a fréquemment lieu à distinguer les stratifications relatives des divers dépôts, ce qui se réduit à la *concordance* ou la *discordance* qui peut exister entre eux.

a. Stratification concordante. — Il y a concordance de stratification entre différents dépôts lorsque toutes les couches sont parallèles les unes aux autres, quelle que soit d'ailleurs la position générale, horizontale ou inclinée, convexe ou concave, fig. 154 à 157. Ces deux dernières dispositions sont souvent dési-

Fig. 154. Fig. 155. Fig. 156. Fig. 157.

Diverses sortes de stratification concordante.

gnées, l'une sous le nom de stratification *en forme de manteau*, l'autre sous celui de *fond de bateau*, qu'on applique surtout aux dépôts de houilles, où on la regarde comme assez commune.

b. Stratification discordante. — La discordance dans la stratification se manifeste toutes les fois que les couches d'un dépôt sont inclinées d'une certaine manière, tandis que celles de l'autre sont inclinées différemment; tantôt ce sont des couches horizontales qui viennent butter contre des couches inclinées, fig. 158; tantôt des couches inclinées par rapport à d'autres qui le sont plus ou moins, comme en *a* et *b*, fig. 159. On distingue sous le nom de *stratification transgressive* un cas particulier de discordance où le dépôt supérieur, stratifié d'une manière ou de l'autre, ou non stratifié, repose sur la tranche des couches du dépôt inférieur, fig. 160. Il y a même lieu de distinguer un cas de discordance où les couches peuvent être néanmoins parallèles: c'est ce qui a lieu lorsqu'un dépôt horizontal, après avoir été sillonné de différentes manières par les eaux, se trouve recouvert en totalité par un dépôt du même genre qui remplit tous les bas-fonds, fig. 161, comme on le voit assez souvent entre le terrain parisien et les dépôts des étages supérieurs. La discordance a lieu dans ce cas par la jonction bout à bout des couches différentes sur la pente des anciennes vallées.

Fig. 158.

Fig. 159.

Fig. 160.

Fig. 161.

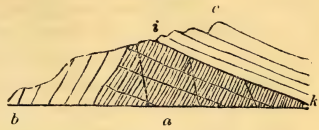
Exemples de stratification discordante.

§ 152. —**Difficultés d'observation.** Lorsqu'il s'agit d'établir les rapports de stratification entre deux dépôts, il est nécessaire d'apporter une grande attention à la structure particulière des couches, qui peut dans certains cas induire facilement en erreur. Ainsi, de ce que la couche *a*, fig 162, présente des divisions particulières, il ne faudrait pas en conclure qu'il y a avec la couche *b* discordance de stratification; cette apparence résulte entièrement de la structure que la couche *a* doit à sa formation rapide dans des

circonstances particulières, comme nous l'avons vu dans les atterrissements qui ont lieu dans nos rivières, § 84.

Fig. 162.

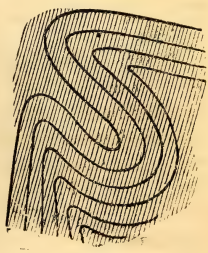
Fig. 163.



Exemples de stratification douteuse.

Les matières schisteuses peuvent à cet égard donner lieu à beaucoup d'incertitudes, parce qu'elles offrent des divisions dans tous les sens et que quelquefois la moins apparente est précisément celle de la stratification. Ainsi, en regardant les plus fines divisions de la masse schisteuse *a*, fig. 163, comme annonçant la stratification, on considérerait le dépôt *b* comme concordant avec le premier, et par conséquent le dépôt *c* comme discordant. Ce serait le contraire si l'on regardait les joints parallèles à *ik* comme ceux de la stratification; le dépôt *c* serait alors concordant, et le dépôt *b* discordant. Enfin, en considérant les autres joints de la masse schisteuse comme représentant la stratification, les autres dépôts seraient tous deux discordants. On conçoit qu'il puisse être souvent difficile de se prononcer; cependant, en général, la division schisteuse est fréquemment une structure qui tient peut-être à une certaine cristallisation des matières dont la roche provient, et c'est en conséquence parmi les autres qu'il faut ordinairement choisir. Or les joints de dislocation, car il faut bien que l'une ou l'autre division ait été produite ainsi, sont des fentes unies et bien déterminées, souvent légèrement ouvertes, qui se prolongent ordinairement dans plusieurs dépôts consécutifs, tandis que les joints de stratification sont plus ondulés, et offrent même plus d'adhérence.

Fig. 164.

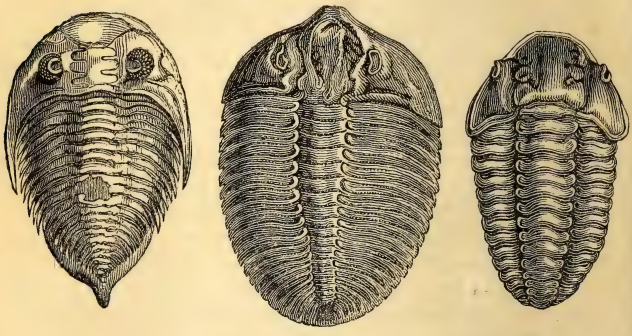


Il est à remarquer que les ondulations les plus irrégulières des véritables strates sont souvent traversées toutes, comme on le voit par exemple dans les Ardennes, dans le Forez, dans les Corbières, etc., par la structure schisteuse, fig. 164, qui n'en est nullement altérée. Cette circonstance annonce évidemment que cette structure est un effet postérieur au contournement des couches, et qu'on peut attribuer à un métamorphisme, § 142, plus moderne que leur

dérangement. Les divisions extraordinaires dont on reconnaît ainsi l'existence prennent quelquefois le nom de *fausse stratification*.

§ 153. **Caractères fournis par les restes organiques.**— Les restes organiques, très nombreux dans la plupart des dépôts sédimentaires, nous fournissent aussi les moyens de nous reconnaître au milieu du dédale de couches successives. D'abord il y en a qui sont particuliers à certains dépôts, qui ne se sont jamais montrés ailleurs, et qui par conséquent les font distinguer nettement comme des *horizons géognostiques*. Ainsi, les terrains siluriens ou devoniens se reconnaissent parfaitement par la présence des débris d'une certaine famille de crustacés, nommés *trilobites*, qui ne se trouvent nulle autre part ailleurs, ou dont on voit tout au plus quelques traces fort rares dans le terrain houiller. Telles sont les diverses espèces du genre *Asaphe*, fig. 165 et 166, du genre *Calymène*, fig. 167, etc.

Fig. 165. Fig. 166. Fig. 167.



Asaphus caudatus. *Asaphus Buchii.* *Calymene Blumenbachii.*

D'autres caractères excellents sont fournis par la présence de *gryphée arquée*, fig. 168, qui appartient au *lias*, et ne se trouve que là ; par l'*exogyra virgula*, fig. 169 (genre de gryphée à crochets rejetés sur le côté), qui appartient au contraire à la partie supérieure des terrains jurassiques; par les *baculites* et *turrilites*, fig. 170 et 171, coquilles cloisonnées, droites ou turriculées, à bords découpés, qui commencent et finissent dans la période crétacée.

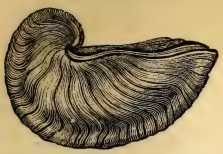


Fig. 168. *Gryphæa arcuata.*

Fig. 169. *Exogyra virgula.*

Fig. 170. *Baculite.*

Fig. 171. *Turrilites costatus*

Beaucoup d'autres débris, moins exclusifs que les précédents, nous fournissent encore de bons moyens de distinction, soit parce qu'ils se trouvent dans des limites assez resserrées, soit parce qu'aux différents étages ils présentent des espèces particulières. Ainsi les *orthocératites*, fig. 172, qui commencent dans les calcaires les plus profonds, disparaissent entièrement après le calcaire carbonifère. Le genre *ammonite*, si commun dans divers dépôts, ne commence cependant qu'assez haut dans la série des sédiments, et finit avec la craie; il nous offre des espèces caractéristiques à chaque étage : par exemple, l'*ammonite de Buckland*, fig. 173, appartient au *lias;* l'*ammonite noueuse*, fig. 174, ne se trouve que dans le cal-

Fig. 172.

Orthoceras lateralis.

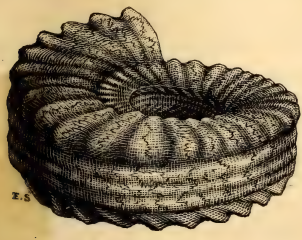


Fig. 173. *Ammonites Bucklandi.*

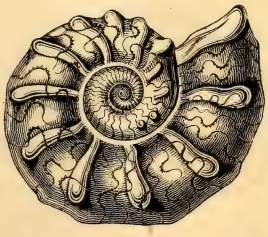
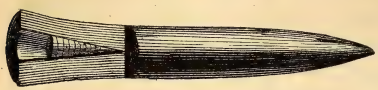


Fig. 174. *Ammonites nodosus.*

caire conchylien, etc. Les *bélemnites*, fig. 175, ne commencent que dans le lias, et disparaissent pour toujours après la craie. Il en est de même des *scaphites*, fig. 176.

Fig. 175.



Bélemnite brisée avec portion de l'alvéole chambrée.

Fig. 176.

Scaphites æqualis.

Les Brachiopodes (voyez *Zoologie*), dont les bras roulés en spirales se voient encore à l'intérieur de quelques coquilles, fig. 178, nous offrent aussi des caractères assez tranchés. Les couches anciennes nous présentent : 1° les *orthis*, fig. 177, caractérisées par une ouverture triangulaire au-dessous du sommet, la valve dorsale étant bombée et l'autre plus ou moins ; 2° les *spirifères*, fig. 178, à ouverture semblable, mais à valve dorsale creusée au milieu, et l'autre renflée vis-à-vis ; 3° les *productus*, fig. 179, sans ouverture, dont la valve ventrale est plate, ou même creuse. Plus haut ces genres disparaissent, et les *térébratules*, fig. 180, 181, percées

Fig. 177. *Orthis testudinaria.*

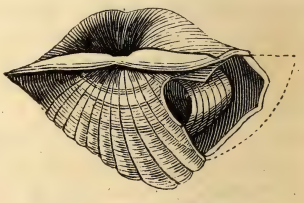


Fig. 178. *Spirifer trigonalis.*

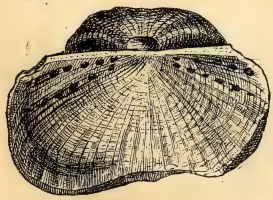


Fig. 179.
Productus antiquatus.

Fig. 180.
Terebratula digona.

Fig. 181
Terebratula octoplicata.

d'un trou rond au sommet même de la valve dorsale, sont les seuls débris qui se continuent jusque dans la craie.

§ 154.—Nous ne parlons ici que des débris organiques qu'on rencontre fréquemment; mais si nous pouvions entrer dans le détail des débris d'animaux vertébrés, nous aurions encore beaucoup de caractères importants. Nous verrions dans les dépôts houillers les restes de ces énormes poissons dont on a fait un groupe nommé *poissons sauroïdes* à cause de leur forte organisation et de leurs mâchoires solides, armées de fortes dents, qui annoncent leur voracité; on en retrouve diverses espèces jusqu'au terrain crétacé, avec des débris de squales dont les dimensions devaient être aussi très considérables. Parmi les reptiles on trouve un grand nombre de genres et d'espèces, remarquables surtout par des dimensions colossales, qui commencent avec les dépôts pénéens. Des sauriens gigantesques, les uns nageurs, les autres terrestres ou volants, caractérisent les dépôts depuis le lias jusqu'à la craie inclusivement; au-dessus se trouvent des crocodiles, comme aussi de vrais squales, qui vont de la craie jusque dans les terrains supérieurs. Les mammifères commencent à se montrer dans les terrains jurassiques; mais c'est seulement au-dessus de la craie qu'ils deviennent abondants et présentent de nombreuses espèces; enfin c'est dans les terrains subapennins qu'ils se rapprochent entièrement des formes actuelles.

La flore des divers terrains sédimentaires nous présente de nombreuses espèces de la famille des fougères dans la partie supérieure des terrains siluriens, et surtout dans le groupe des terrains houillers. Les cycadées, les conifères ne se montrent bien clairement que dans les dépôts supérieurs; enfin, c'est après la craie que se trouvent les débris de plantes cotylédones.

Nous reviendrons tout-à-l'heure avec plus de précision sur tous ces débris, animaux et végétaux, et nous fixerons les époques relatives de leur existence.

§ 155. **Nature des dépôts de sédiment.** — Les terrains sédimentaires se composent en très grande partie de dépôts calcaires qui présentent un assez grand nombre de variétés, tantôt compactes, tantôt plus ou moins terreuses et souvent mélangées d'une quantité plus ou moins considérable de matières sableuses ou argileuses. Il y en a d'oolitiques qui constituent des couches puissantes répétées souvent un assez grand nombre de fois et séparées par d'autres dépôts. Ce n'est que dans le voisinage des matières de fusion que les calcaires prennent un caractère cristallin et se remplissent souvent alors de diverses matières; de là résultent les différents

marbres composés qui, comme roches. prennent différents noms. (Voyez les dépôts de cristallisation, § 212 *r*.)

Les dépôts calcaires des terrains de sédiment alternent de toutes les manières avec des dépôts arénacés, qui reçoivent divers noms suivant la forme des parties et aussi suivant leurs positions dans la série géologique. On nomme *brèche* les matières formées de fragments anguleux, et *poudingues* celles qui sont composées de morceaux arrondis d'une certaine grosseur. On les désigne sous le nom de *grès* lorsque les parties sont en petits grains distincts; et on leur donne le nom d'*argiles* et de *marnes*, qui sont alors plus ou moins calcarifères, lorsque les parties composantes deviennent extrêmement fines.

D'après la position géologique, on donne le nom de *grauwackes* aux brèches, aux poudingues, aux grès, quelquefois même aux argiles des terrains de sédiment les plus anciens, ou les plus rapprochés des terrains de cristallisation qui ont agi sur eux de différentes manières. On les distingue en *grauwackes grossières* et *grauwackes schisteuses;* celles-ci renferment souvent un grand nombre de paillettes de mica disposées à plat, qu'on reconnaît à leur miroitement. Elles paraissent avoir été primitivement des argiles, que des circonstances de dessèchement et de métamorphisme ont rendues fissiles; elles passent par toutes les nuances aux schistes micacés et aux schistes talqueux. Le plus souvent les grauwackes ont des teintes sombres, et les variétés schisteuses deviennent tout-à-fait noires; cependant il y en a de diverses autres couleurs, et notamment de rouges, comme celle qu'on a nommée *vieux grès rouge* (*old red sandstone* des Anglais).

Les grès proprement dits prennent aussi les différents noms de *quarzite*, *grès houiller*, *grès bigarré*, *grès vert* et *molasse*, etc. Les *quarzites* sont des grès consolidés qu'on rencontre dans le voisinage des terrains de cristallisation, où ils ont pris le caractère de quarz grenu par voie de métamorphisme.

Le *grès houiller*, ainsi nommé parce que c'est au milieu de ses dépôs que se trouve la houille, est en général formé d'une accumulation de grains quarzeux et feldspathiques réunis par un ciment argileux plus ou moins micacé, ordinairement grisâtre; il passe à des *argiles schisteuses* et à des *schistes bitumineux*, qui ne sont que des grès très fins.

Le *grès rouge*, plus moderne que le grès houiller, présente souvent un ciment argileux et sablonneux, de couleur rouge, qui empâte des galets de quarz, de quarzite, de schiste argileux, de porphyre, de granite, etc., souvent réduits à l'état de grains fins,

parmi lesquels on distingue le feldspath par sa décomposition en kaolin. Ces grès passent souvent au porphyre par des parties argileuses plus compactes qui finissent par renfermer des cristaux de feldspath, et qu'on nomme *argilolite* et *argilophyre*.

Le *grès bigarré*, ordinairement à grains fins, est encore en général de couleur rouge; mais, en grand, il passe par toutes les teintes, et surtout se trouve intercalé avec des argiles ou des marnes rouges, violâtres, verdâtres, qui donnent à la masse une bigarrure de couleurs plus ou moins remarquables.

Le *grès vert* prend sa dénomination de la grande quantité de petits grains verts qu'il renferme; il est presque toujours calcarifère, et passe par toutes les nuances à la craie verte, avec laquelle il se trouve.

La *molasse* est un grès fin, renfermant aussi des grains verts, qui est plus ou moins argileux et calcaire, et qu'on trouve dans les terrains de sédiment en quelque sorte les plus modernes.

Il n'est pas inutile de remarquer que dans divers ouvrages les différents grès, lorsqu'ils sont micacés, ce qui est assez fréquent, reçoivent le nom de *psammite*. Quelquefois on nomme *psephite* les variétés qui présentent un ciment argileux. Les *arkoses*, comme nous l'avons dit, § 142, ne sont que des modifications de toute espèce de grès auprès des roches de cristallisation. On y reconnaît alors des veines de quarz, de silex, de barytine, divers amas métallifères, toutes substances formées sans doute après coup, soit par des injections de matières fondues, soit par infiltration des eaux thermales, qui venaient alors du sein de la terre à travers les fissures de la roche cristalline, § 104.

DIVISION DES DÉPÔTS DE SÉDIMENT EN GROUPES.

§ 156. **Moyens de division.** — Les discordances de stratification dans les terrains de sédiment sont des faits très importants à constater; car si certains dépôts se trouvent quelque part en couches inclinées, tandis que d'autres se sont formés par-dessus, en couches horizontales par exemple, il faut bien en conclure que les premiers ont été produits avant une certaine catastrophe qui les a redressés, § 113, et que c'est au contraire après cette catastrophe que les autres se sont précipités des eaux. De là deux périodes plus ou moins longues de formations tranquilles séparées par un bouleversement, qui correspondent par conséquent à des époques géologiques très différentes l'une de l'autre. C'est surtout d'après des observations de ce genre, aidées par les différences que

présentent les débris organiques aux divers étages de matières sédimentaires, aussi bien que par la nature des roches roulées qui composent les dépôts de cailloux et de graviers qui se sont succédé, qu'on est conduit à partager toute la série en divers groupes, ou terrains, qui représentent autant d'époques géologiques, comme nous l'avons indiqué par des accolades dans le tableau, pag. 175. Chaque groupe est en stratification discordante avec celui qui le précède, ce qu'on observe quelquefois aussi dans quelques unes des couches qui le composent. Les différentes divisions qu'on parvient à reconnaître présentent fréquemment un assez grand nombre de caractères distinctifs de toute espèce.

§ 157. **Terrains cambriens et siluriens.** — Le terrain cambrien constitue les dépôts sédimentaires les plus bas qu'on puisse apercevoir. Il se compose essentiellement de grauwackes schisteuses, § 155, qui passent par toutes les nuances de solidité, d'éclat et de couleur; qui se lient d'un côté aux micaschistes et aux gneiss, de l'autre aux grauwackes grossières avec lesquelles elles se trouvent intercalées. Ces dépôts renferment des bancs plus ou moins épais de quarzite de diverses variétés qui passent au grès par toutes les nuances, et différentes couches calcaires. Les débris organiques y sont en général peu nombreux et se réduisent à quelques débris de brachiopodes, quelques portions d'encrinites dans les calcaires, et quelques polypiers.

Le *terrain silurien* a souvent la plus grande analogie, par la composition minérale, avec le terrain cambrien, et n'en pourrait être séparé que comme en formant la partie supérieure, si, dans plusieurs localités et notamment dans les départements de la Manche et de l'Orne, on ne voyait distinctement les deux dépôts en stratification discordante. Des poudingues, des grès quarzeux et des quarzites, des calcaires compactes alternant avec ces derniers, ou avec des schistes plus ou moins solides qui passent aux grauwackes schisteuses, telle est leur composition générale, dans laquelle tantôt l'une, tantôt l'autre de ces matières se trouve plus développée. Les débris organiques deviennent plus abondants, et par là, comme par leur nature, tout-à-fait caractéristiques : ce sont des *trilobites*, fig. 165 à 167, pag. 180, dont les ardoises d'Angers nous offrent de beaux exemples, ainsi que les calcaires noirs qui les recouvrent; des orthocératites, fig. 182; des lithuites de grandes dimensions, fig. 183, des *productus*, fig. 184; une division particulière de térébratules nommée *pentamères*, fig. 185 à 187, dont on ne trouve le plus souvent que les moules intérieurs; des *térébratules*, fig. 188; des *orthis*, fig. 189; divers polypiers, fig. 190, 191.

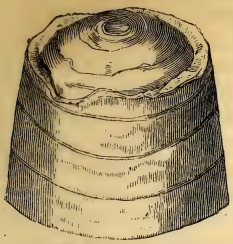


Fig. 182. *Orthoceras conica.*

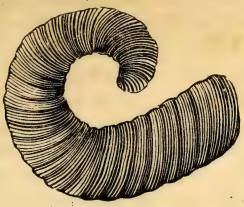


Fig. 183. *Lituites giganteus.*

Fig. 188. *Terebr. navicula.*

Fig. 184. *Productus depressus.*

Fig. 185. *Moule du pentamerus lævis.*

Fig. 189. *Orthis orbicularis.*

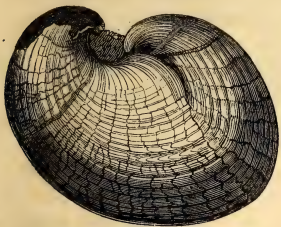


Fig. 186. *Pentamerus Knigthii.*

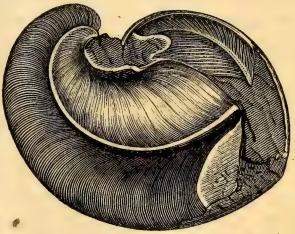


Fig. 187. *Coupe de la coquille.*

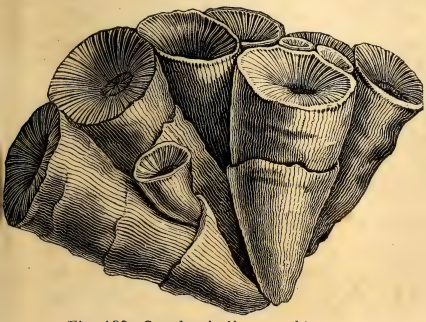


Fig. 190. *Cyathophyllum turbinatum.*

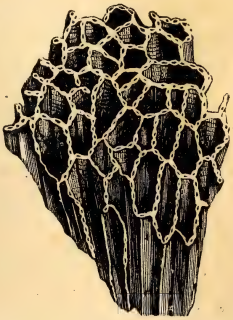


Fig. 191. *Catenipora escaroides.*

§ 158. **Terrain devonien.** — Ce terrain, ainsi nommé parce qu'il est abondant dans le Devonshire, forme toujours la partie supérieure du terrain précédent; mais nulle part on n'a pu observer encore de discordance de stratification, ce qui pourrait laisser quelques doutes sur la séparation qu'on est conduit à en faire, s'il ne présentait des caractères particuliers assez nettement tranchés. Partout ce terrain paraît commencer par des poudingues qui alternent à diverses reprises avec des grès auxquels il passe par toutes les nuances. Viennent ensuite des grès schisteux plus ou moins fins, des schistes de diverses espèces, des calcaires divers, qui alternent tous ensemble, et au milieu desquels se trouvent des couches d'anthracite, souvent très régulières, qui ont fait aussi donner à ce terrain le nom de *terrain anthraxifère*.

Ces divers dépôts, qui forment l'ensemble du terrain, sont chacun plus ou moins développés, suivant les contrées où l'on peut les observer. En Angleterre, ce sont généralement les grès qui dominent; ils présentent des dépôts immenses de puissance et d'étendue dans la partie méridionale du pays de Galles, et dans les contrées voisines, jusqu'au pied des Grampians. Ils y forment ce qu'on nomme le *old red sandstone*, ou *vieux grès rouge*, § 155, qui renferme des couches subordonnées argileuses et marneuses de diverses couleurs. Ailleurs, ce sont les calcaires qui deviennent les plus abondants, avec des schistes argileux divers, ou bien des schistes chloritiques, tantôt intercalés avec des quarz schisteux, comme dans le Devonshire, tantôt à peu près seuls, comme dans le Cornouailles.

Les dépôts de combustible que nous offre le terrain devonien sont les plus anciens que nous connaissions aujourd'hui; ils renferment déjà des fougères, des calamites, et diverses autres espèces de plantes, généralement peu différentes de celles qu'on trouve dans le terrain houiller qui vient immédiatement après.

Les débris animaux sont aussi assez abondants dans le terrain devonien, et il en existe qui paraissent être jusqu'ici tout-à-fait caractéristiques. On y trouve une assez grande quantité de polypiers, qui sont plus ou moins analogues à ceux du genre caryophyllé, comme fig. 58. Les *Amplexus*, fig. 192, que les uns regardent comme des polypiers, et les autres comme des coquilles chambrées, n'ont pas encore été trouvés dans d'autres dépôts; la *Calcéole*, fig. 193, si voisine de certains productus, paraît en être caractéristique, et peut-être aussi le *Clymenia linearis*, fig. 194, qui est une coquille chambrée à siphon ventral. On y observe aussi quelques bivalves particulières, telles que fig. 195, quelques bra-

chiopodes, et entre autres le *Terebratula porrecta*, fig. 196, dont on a fait aussi un genre particulier sous le nom de *strygonocéphale*.

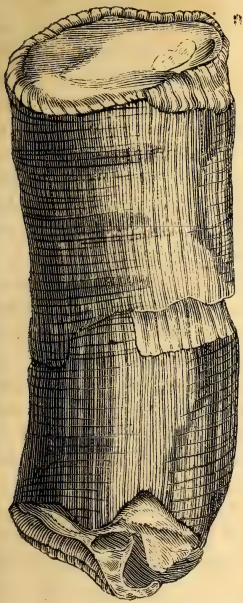


Fig. 192. *Amplexus coralloides.*

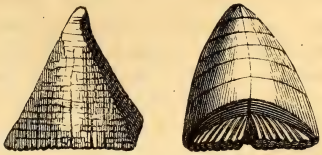


Fig. 193. *Calceola sandalina.*

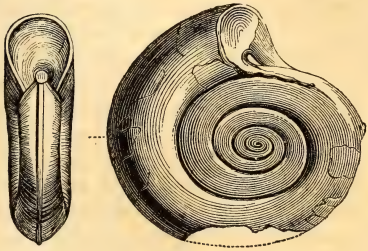


Fig. 194. *Climenia linearis.*

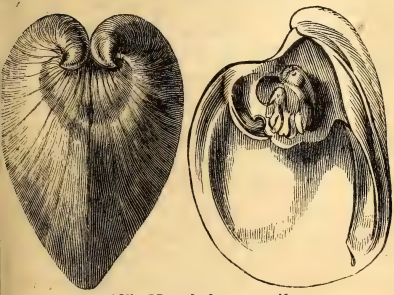


Fig. 195. *Megalodon cucullatus.*

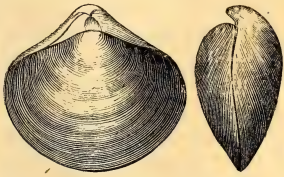


Fig. 196. *Terebratula porrecta.*

§ 159. **Étendue de ces trois terrains.** — Ces trois sortes de terrains, qu'il n'est pas toujours facile de distinguer les uns des autres

lorsqu'ils sont isolés, se trouvent assez répandus à la surface de l'Europe, où leur ensemble constitue la plus grande partie de ce qu'on a nommé les *terrains de transition*. Ils sont très abondants en Bretagne et dans le Cotentin, où les limites de chacun d'eux ont été nettement dessinées par MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont; la masse anthracitifère y forme une bande le long de la Loire en s'étendant de Maine-et-Loire dans le Morbihan, et plusieurs autres dépôts dans la Sarthe et la Mayenne. On les retrouve sur toute l'étendue de la chaîne des Pyrénées, dans la partie méridionale des Cévennes, dans les montagnes du Forez et du Beaujolais, et dans quelques points des Vosges. Ils forment tout le Hundsruck, l'Eiffel, les Ardennes et la partie méridionale de la Belgique. On les retrouve au Harz, en Saxe et dans diverses parties de l'Allemagne, en Suède, en Norwége, et ils sont très abondants en Angleterre. Ils offrent partout des gîtes d'anthracite, exploités avec succès et toujours très utiles à la contrée, quoique la matière ne puisse pas être appliquée à tous les usages auxquels on emploie la houille.

§ 160. **Terrain houiller.** — Ce terrain, à l'état complet, se compose d'un dépôt calcaire, qui prend le nom de *calcaire carbonifère*, et d'un dépôt de grès, qu'on nomme *grès houiller*, qui forme la partie supérieure, celle dans laquelle les couches de houille se trouvent déposées.

1° Le *calcaire carbonifère*, connu aussi sous le nom de *calcaire de montagne* ou de *calcaire métallifère*, à cause de ses richesses minérales dans le Derbyshire, etc., se trouve très développé en Angleterre, en Belgique et dans le nord de la France. Ce sont les dépôts qu'il forme qui nous fournissent le marbre noir de Dinan, le marbre des Ecaussines, ou petit granite, tout rempli de fragments d'encrinites, et différents marbres veinés de blanc et coquilliers. Tous ces marbres, sous le nom général de marbres de Flandre, se trouvent dans le commerce en concurrence avec ceux qu'on tire des terrains devoniens voisins, quoique ces derniers soient beaucoup plus solides, comme le *Sainte-Anne*, le *Rancé*, etc. On ne trouve pas de calcaire carbonifère dans le reste de la France, où le grès houiller repose immédiatement sur les dépôts antérieurs, et souvent sur les roches de cristallisation.

Ces calcaires, ordinairement de couleur foncée, et formant d'immenses dépôts, alternent dans le haut avec des matières arénacées qui se rattachent au grès houiller. Ils renferment un grand nombre de débris organiques, tels que des polypiers divers, cyathophyllées, madrépores, etc., qui paraissent différents de ceux du groupe précédent; il s'y trouve un grand nombre d'encrinites

qui appartiennent à la division des crinoïdes, fig. 197, et dont les fragments constituent souvent presque à eux seuls la masse de certaines couches. Il y a aussi un grand nombre de débris de mollusques, comme l'*orthoceras lateralis*, fig. 198; les *goniatites*, fig. 199, qui ressemblent aux nautiles; les *bellérophons*, fig. 200, qui, avec des formes analogues, ne sont pas chambrés; des *évomphales* de diverses espèces, fig. 201; des *spirifères* et des *productus* très variés, surtout, fig. 202, 203.

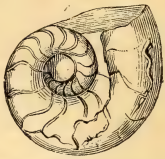
Fig. 197.

Cyathocrinites planus.

Fig. 198.

Orthoceras lateralis.

Fig. 199.



Goniatites evolutus.

Fig. 200.

Bellerophon costatus.

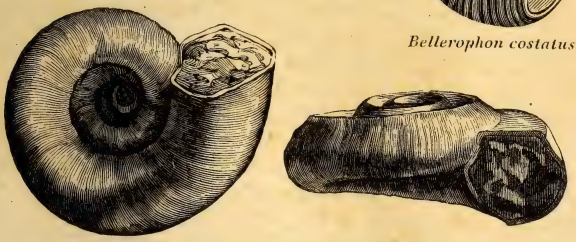


Fig. 201. *Evomphalus pentangulatus.*

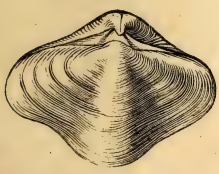


Fig. 202. *Spirifer glaber.*

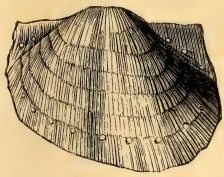


Fig. 203. *Productus Martini.*

2° Le *grès houiller*, qui forme le second membre de la série, repose sur le calcaire carbonifère en Angleterre, en Belgique, ainsi que dans les parties voisines du territoire français, et il y renferme même des couches calcaires plus ou moins épaisses. Dans le reste de la France il se trouve entièrement seul, reposant immédiatement sur les anciens dépôts sédimentaires, et sur les roches mêmes de cristallisation. Les dépôts commencent alors ordinairement par des poudingues généralement formés par les débris des roches de la contrée, et qui en renferment souvent des blocs gigantesques à peine roulés. Quelquefois des poudingues plus fins alternent à plusieurs reprises avec des grès, qui cependant finissent toujours par constituer la partie principale du dépôt. Ces grès présentent de nombreuses variétés sous le rapport de la grosseur des grains de quarz ou de feldspath, et de la quantité de matières argileuses qu'ils renferment; ils sont fréquemment micacés et schisteux; ils renferment des couches d'argile schisteuse et de schistes bitumineux, qui sont quelquefois d'une grande épaisseur, plus rarement des couches calcaires. Les amas de houille y sont disséminés aussi bien dans les parties grossières que dans les parties schisteuses, et cependant sont toujours séparés des grès par des lits d'argile; ceux-ci sont d'abord à peu près purs, puis se trouvent mélangés avec le combustible, et enfin se représentent encore seuls par-dessus le dépôt.

§ 161. **Débris végétaux du grès houiller.** Outre la houille, formée par une accumulation de végétaux décomposés, dont, au microscope, on reconnaît les débris, § 103, les dépôts houillers présentent un grand nombre de plantes qui ont conservé leurs caractères organiques: des tiges et des troncs d'arbres sont disséminés dans les grès; des feuilles de diverses sortes ont laissé leurs empreintes parfaitement conservées dans les schistes et les argiles qui accompagnent le combustible. Ces débris se rapportent aux fougères, aux équisétacées, aux lycopodiacées, aux conifères, et à divers genres de plantes, entièrement perdus, qui se rapprochent de la famille des cycadées.

Les empreintes de fougères, extrêmement nombreuses, nous présentent des *pecopteris*, fig. 204, dont les folioles, peu détachées du pédicule, se réunissent quelquefois en une seule feuille découpée profondément, et ayant une nervure principale d'où partent perpendiculairement des nervures secondaires; des *sphœnopteris*, fig. 205, analogues aux précédentes, mais dont les folioles sont plus distinctes, profondément lobées, et où les nervures rayonnent presque de la base; des *nevropteris*, fig. 206, qui ont

aussi les folioles détachées, mais entières et arrondies, où les nervures naissent très obliquement de la nervure moyenne et se divisent ensuite à plusieurs reprises; enfin un grand nombre de genres fondés sur la forme des folioles et la disposition des nervures. Il se trouve en outre diverses plantes de familles incertaines, telles que des *sphenophyllites*, fig. 207, des *annularia*, fig. 208, etc., qui sont très abondantes dans certaines localités.

Fig. 204. *Pecopteris aquilina.*

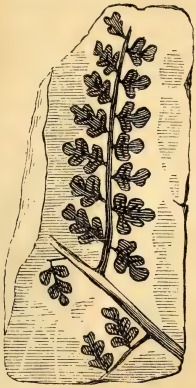


Fig. 205. *Sphænopteris Hœninghausi.*

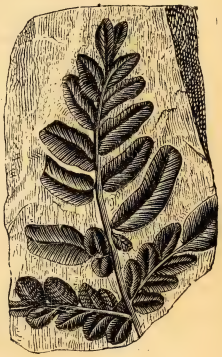


Fig. 206. *Nevropteris Loshii.*

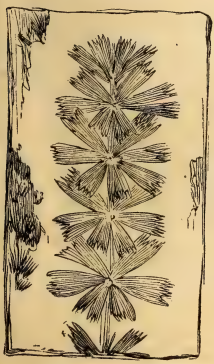


Fig. 207. *Sphenophyllum dentatum.*

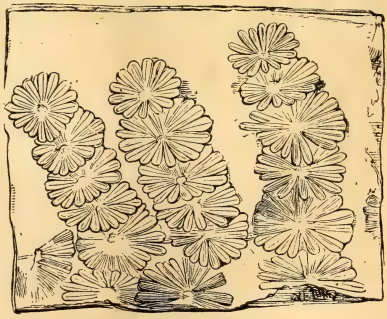


Fig. 208. *Annularia brevifolia.*

Il paraît exister de véritables *equisetum* dans les terrains houillers; mais on est conduit en outre à rapprocher de la même famille certains débris végétaux qui ont des caractères analogues. Ce sont des tiges cannelées sur leur longueur, et qui présentent de distance en distance des articulations plus ou moins marquées, d'où naissent quelquefois des rameaux, fig. 209 et 210. Ces tiges, qu'on a désignées sous le nom de *calamites*, quoiqu'elles n'aient aucun rapport avec le *calamus*, ou rotang, de la famille des palmiers, se trouvent souvent, comme toutes celles dont nous allons parler, converties en matières argileuses qui ont pris de la solidité, ou en carbonates de fer, rarement en matière siliceuse. Le tissu végétal extérieur, qui a laissé son empreinte sur la masse minérale, est fréquemment passé à l'état de matière charbonneuse.

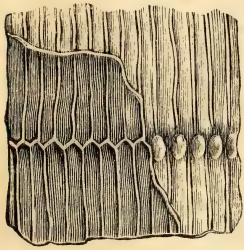


Fig. 209. *Calamites Suckovii.*

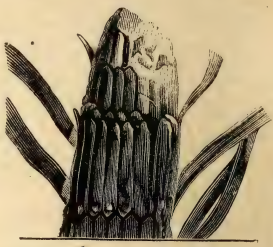


Fig. 210. *Calamites cannæformis.*

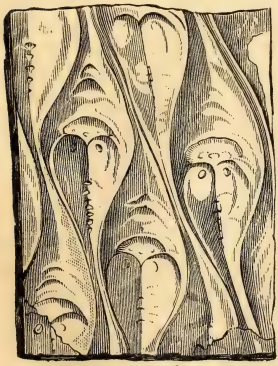


Fig. 211. *Lepidodendron crenatum.*

Fig. 212. *Lepidodendron elegans.*

On rapporte aux lycopodiacées divers débris de végétaux qu'on désigne sous le nom de *lepidodendrons*, tels que fig. 211, 212, dont

on a trouvé quelquefois des arbres entiers qui avaient jusqu'à 20 mètres de hauteur. Leurs tiges sont caractérisées par des mamelons rhomboïdaux disposés en spirales, qui montrent clairement vers le haut les cicatrices des feuilles.

Auprès de la famille des cycadées, paraissent pouvoir se ranger les débris de végétaux qu'on a désignés sous le nom de *sigillaria*, comme fig. 213. Ce sont, en général, des tiges qui paraissent avoir été aplaties par la pression des terres, qui sont cannelées sur leur longueur, mais non articulées comme les calamites ; elles sont garnies de cicatrices disposées par séries longitudinales, et non en spirales, comme dans les lepidodendrons. Les espèces de tiges qui ont été nommées *stigmaria*, fig. 214, pourraient bien n'être, suivant M. Ad. Brongniart, que les racines de ces végétaux ; le corps devait en être traversé par un axe ligneux qui était entouré de parties molles.

Fig. 213. *Sigillaria pachyderma.*

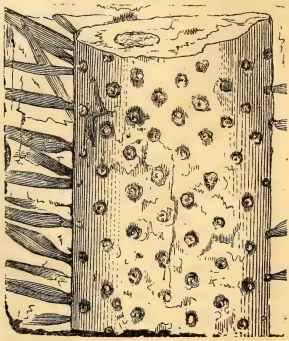


Fig. 214. *Stigmaria ficoides.*

Les plantes de la famille des conifères, par suite de la grande consistance de leurs bois, paraissent avoir eu généralement une très grande part dans la formation des matières charbonneuses qu'on trouve à toutes les hauteurs dans les différents terrains. Il en existe déjà dans les dépôts houillers eux-mêmes, spécialement dans les couches supérieures; et les débris dont on trouve les empreintes dans leurs schistes se rapprochent des *araucaria* par leurs feuilles sessiles disposées en spirales. M. Ad. Brongniart, qui a bien voulu nous guider dans l'indication des plantes fossiles propres à chaque terrain, et dans le choix des figures des espèces les

plus caractéristiques, les rapporte toutes au genre *Walchia*, établi par M. Sternberg, dont il a figuré ici deux espèces inédites, fig. 215, 216, avec leurs feuilles et leurs fruits.

Fig. 215. *Walchia Schlotheimii.*

Fig. 216. *Walchia hypnoides.*

§ 162. **Débris animaux.** Ces débris sont généralement peu communs dans les dépôts de grès houillers : cependant il s'en trouve, et même en assez grand nombre, dans certaines localités. C'est dans les couches calcaires subordonnées à ces grès, aux environs d'Édimbourg, que le docteur Hibbert a récolté les débris d'énormes poissons sauroïdes dont les dents, fortes et striées longitudinalement, aussi bien que tout le système osseux, rappellent les reptiles des plus grandes dimensions. La figure 217 représente

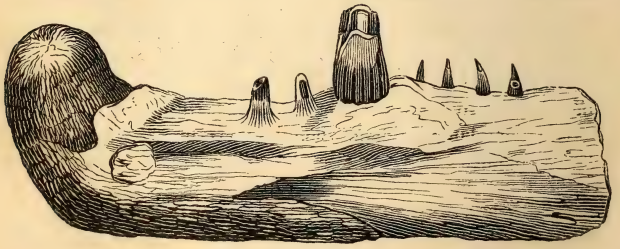


Fig. 217. *Máchoire inférieure d'holopticus Hibberti.*

une portion de mâchoire très réduite d'une espèce de ces êtres voraces, et la fig. 218, une dent de grandeur naturelle d'une autre espèce. Le calcaire qui les renferme offre aussi des concrétions particulières qu'on regarde comme leurs excréments, et qu'à cause de cela on nomme *coprolites*, fig. 219. La famille des squales était aussi représentée, mais alors par la division des *cestracions*, caractérisée par les dents propres à broyer, fig. 220, ou par celle des *hybodons*, à dents conoïdes, non tranchantes, dont l'émail est plissé sur les deux faces, fig. 221. Les vrais squales, à dents aplaties et tranchantes sur les bords, fig. 222, n'existaient pas encore, et n'ont apparu que beaucoup plus tard dans les terrains crétacés.

Fig. 218. *Dent de megalictlys Hibberti.*

Fig. 219. *Coprolites.*

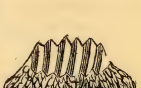


Fig. 220. *Dent de cestracion.*

Fig. 221. *Dent d'hybodon.*

Fig. 222. *Dent de vrai squale.*

D'autres poissons se présentent dans les bassins houillers continentaux, soit dans les schistes bitumineux, comme à Sarrebruck et à Autun, soit dans les rognons de carbonate de fer, comme à Saint-Etienne. Ils appartiennent à des genres voisins de l'esturgeon, que M. Agassiz nomme *Paleoniceus* et *amblyptreus*, qui paraissent avoir vécu dans les eaux douces.

Les coquilles marines sont rares dans le grès houiller, et il ne s'en est trouvé que dans les calcaires subordonnés de la Belgique et de l'Angleterre; mais on cite en même temps des *unio* et de petits entomostracés qui indiquent au moins des affluents d'eau douce dans la mer où se formaient ces dépôts particuliers.

§ 163. **Étendue des terrains houillers.** — Le terrain houiller ne peut se montrer au jour qu'à la surface des terrains cambriens, siluriens et devoniens, qui s'étaient antérieurement for-

més, ou bien sur les bords de ces dépôts. S'il en existe au-delà, il est nécessairement caché par toutes les matières postérieurement formées, et sous lesquelles on va quelquefois à grands frais chercher le combustible. De là il résulte que le terrain houiller occupe peu de place à la surface découverte du globe. En France, tous les dépôts connus ne forment guère que $\frac{1}{200}$ de la superficie du territoire. L'Angleterre et la Belgique sont relativement beaucoup plus riches, car dans la première de ces contrées la superficie du terrain houiller est de $\frac{1}{20}$ de celle du royaume, et dans la seconde, de $\frac{1}{24}$. Tous les autres états de l'Europe sont beaucoup plus pauvres, et il en est même, comme la Suède, la Norwége, la Russie, l'Italie, la Grèce, qui sont presque entièrement privés de ces précieuses formations. La Bohême est la partie la plus riche de l'Allemagne, quoique ses exploitations n'offrent encore que de faibles produits. La partie nord de la péninsule hispanique paraît renfermer des dépôts de houille considérables et participer ainsi aux richesses de l'Europe occidentale.

§ 164. En France, les dépôts de houille sont en quelque sorte concentrés autour du plateau central, qui renferme l'Auvergne et le Limousin, ou disséminés à sa surface. En commençant à Avallon par exemple, fig. 223, on trouve à l'est de cette ville une bande de terrain houiller qui se dirige vers Semur, sur laquelle il a été fait quelques recherches. Plus loin se présentent les mines de Decize sur le canal du Nivernais, les dépôts des environs d'Autun et d'Epinac; puis ceux qui longent le canal du Centre, où se trouvent les exploitations du Creusot, Moncenis, Saint-Bérain, Blanzy, etc., et ceux de Bert et Montcambron, sur la même direction vers Lapalisse. Au nord-est de Roanne on trouve les dépôts de la Chapelle-sous-Dun; puis en remontant, à l'ouest de Lyon, ceux de Sainte-Foy, de l'Arbresle, de Sainte-Paule; enfin on arrive aux grands dépôts de Saint-Etienne et de Rive-de-Gier, qui se prolongent même sur la gauche du Rhône.

Plus au sud, se présentent les dépôts d'Aubenas, ceux d'Alais, qui sont très importants; les petits dépôts du Vigan et des Vans, ceux de Saint-Gervais et de Ronjan, vers Lodève et Pézenas. Plus loin il n'y a plus que de faibles indices vers Perpignan, à Durban et Ségure; mais si, à partir de Lodève, on longe la partie occidentale du plateau, on retrouve les dépôts houillers de Carmeaux, près d'Alby, des environs de Rodez, de la contrée d'Aubin et des environs de Brives. Sur le plateau même se présentent un assez grand nombre de dépôts dont la plupart se trouvent réunis sur une ligne droite dirigée de Mauriac vers Moulins, à l'extrémité nord

de laquelle se trouvent les exploitations de Montaigu, Commentry, Noyant, Fins, etc. C'est encore dans cette partie que sont les houillères de la vallée du Cher, entre Montluçon et Saint-Amand. Il existe aussi plusieurs autres bassins épars çà et là, comme ceux de Lapleau au sud-ouest d'Ussel, de Bourganeuf, d'Ahun au nord-ouest d'Aubusson, de Brassac au nord de Brioude et de Langeac au sud, tous deux dans la vallée de l'Allier.

Fig. 225. *Carte des dépôts houillers de la France.*

En sortant du plateau central nous n'avons plus de dépôts houillers que sur les limites du royaume. Nous en trouvons d'abord dans le département du Var, d'un côté, au nord de Fréjus dans les montagnes de l'Esterel; de l'autre, entre Fréjus et Toulon, dans les montagnes des Maures. Il en existe dans la chaîne des Vosges, mais en petite quantité, au nord et au sud de Colmar. Ce n'est qu'au nord de la chaîne, au pied du Hundsruck, mais en dehors du territoire français, qu'il s'en trouve des dépôts considérables, qui probablement se prolongent dans le département de la Moselle sous les terrains postérieurs qui le recouvrent. Plus loin viennent les grands dépôts de la Belgique, qui se prolongent en France, sous tous les terrains postérieurs, jusqu'à Valenciennes, et peut-être par Arras jusqu'à l'extrémité occidentale du Pas-de-Calais, où des son-

dages ont fait découvrir la houille en divers points, et où se trouvent au nord de Boulogne les houillères de Hardringen.

Nous retrouvons des dépôts houillers dans la partie occidentale du Poitou, à Vouvant et Chantonnay ; puis en Bretagne, autour de Quimper et jusqu'à la pointe de la presqu'île ; il s'en trouve encore dans la Mayenne près de Laval, et enfin dans le département de la Manche, où l'on connaît les houillères de Litry et du Plessis, au nord-est et au nord-ouest de Saint-Lô. Il ne faut pas confondre ces divers dépôts de houille avec les anthracites des terrains devoniens, § 158, dont ils se distinguent surtout parfaitement dans la Mayenne, en ce qu'ils reposent en stratification discordante sur les schistes anthraxifères.

§ 165. **Terrain pénéen** — Dans plusieurs localités le terrain pénéen est en stratification discordante avec le terrain houiller. Le premier des dépôts qui le constituent présente des grès généralement de couleur rouge, très abondants en Thuringe, où ils prennent le nom de *rothliegende* ou *rothe todte liegende* (fond stérile rouge), parce qu'il ne renferme aucun minerai et se trouve au-dessous de ceux qu'on exploite. Il en existe aussi en Angleterre, où on les nomme *new red sandstone* ou nouveau grès rouge, par opposition au *old red sandstone* des terrains devoniens. En France, ces dépôts, nommés simplement *grès rouge*, § 155, ne se trouvent qu'autour des Vosges, où souvent même ils sont cachés par le grès vosgien. Cette roche arénacée renferme des fragments anguleux ou arrondis de granite, de porphyre, de quarz, liés le plus souvent par une pâte argilo-ferrugineuse; mais ces parties grossières passent à des grès plus ou moins fins, qui sont souvent les seuls qu'on aperçoive. On ne trouve que très peu de restes organiques dans ce dépôt ; on y indique seulement quelques débris de poissons et de reptiles en Angleterre, où il est peu distinct, et des troncs silicifiés de conifères dans les Vosges et en Saxe.

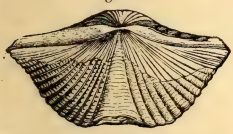
Au-dessus du grès rouge se présentent dans quelques parties ce qu'on nomme les *schistes bitumineux*, très remarquables, surtout en Thuringe, par les minerais de cuivre qu'ils renferment, et qui leur ont fait donner le nom de *kupferschiefer*. Il s'y trouve des végétaux qui paraissent appartenir à la famille des algues, et un très petit nombre de plantes terrestres qui appartiennent aux conifères. Plus haut viennent des calcaires compactes, *zechstein* des Allemands, divisés en plusieurs assises par des marnes, et au milieu desquels se trouvent des dépôts salifères exploités en plusieurs lieux. Au-dessus on connaît des calcaires cellulaires, des

calcaires magnésiens plus ou moins friables, et de nouveau des calcaires compactes, des marnes et des matières argileuses.

Tel est l'ensemble des couches dans la Thuringe et dans différentes parties de l'Allemagne; mais en Angleterre toute cette série est remplacée par des calcaires magnésiens, *magnesian limestone*, qui forment la seule partie importante de la série et qui renferment également des dépôts de sel. En France, ces dépôts nous manquent entièrement, car les schistes bitumineux d'Autun, de Fins, etc., appartiennent à la partie supérieure du terrain houiller.

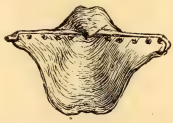
Ce que cette formation présente d'important, c'est qu'on y trouve pour la première fois des débris de *sauriens*, reconnus depuis longtemps dans le schiste bitumineux et dans le zeichstein, et plus tard dans le calcaire magnésien de l'Angleterre : ils sont voisins des genres vivants iguane et monitor. On y trouve aussi des poissons des genres *palœoniscus* et *amblypterus*, analogues à ceux du terrain houiller, § 162, et qu'on ne rencontre plus au-delà de la formation qui nous occupe. Enfin il y a aussi des spirifères et des productus, fig. 224 à 226, surtout le *productus aculeatus*, qui, sous le nom de *gryphites aculeatus*, a été regardé comme caractéristique en Allemagne, et a fait quelquefois donner au zechstein le nom de *gryphitenkalk*, qu'on a par cela même confondu avec le *lias*, § 173. Il s'y trouve encore beaucoup d'autres mollusques, ainsi que des débris d'encrinites, qui paraissent y être les mêmes que dans le calcaire carbonifère.

Fig. 224.



Spirifer undulatus.

Fig. 225.



Productus aculeatus.

Fig. 226.

Productus calvus.

§ 166. **Grès vosgien.** — Ce dépôt, très développé sur la pente orientale des Vosges et dans le Schwarzwald, mais qu'on ne connaît encore que dans ces localités, a été longtemps confondu tantôt avec le grès bigarré, tantôt avec le grès rouge, entre lesquels il se trouve. Mais d'un côté la stratification du grès bigarré est discordante avec celle du grès vosgien; et de l'autre, si ce dernier paraît à peu près concorder avec le grès rouge, il se trouve toujours au-dessus, où il forme des dépôts considérables dont la nature est très caracté-

risée. Il est entièrement composé de grains de quarz, dont la surface est très brillante et recouverte d'un enduit d'oxyde rouge de fer ou d'hydrate de cet oxyde; il n'y a pas de ciment apparent comme dans le grès rouge, de sorte que le plus souvent la masse en est friable : cependant certaines parties forment des couches assez solides, qui sont même exploitées comme pierres de taille. Les galets qu'on y trouve sont presque toujours de quarz. On n'a rencontré jusqu'ici que très peu de débris organiques dans ces sortes de grès, et seulement quelques empreintes rares de calamites qui appartiennent à des espèces particulières; on n'y a trouvé de coquilles que dans les galets que ces dépôts renferment, et qui, par conséquent, leur sont étrangers.

Il n'y a dans les Vosges, où ces dépôts se rencontrent principalement, aucune trace de calcaire pénéen : seulement, on y remarque quelques rognons de calcaire magnésien. Cette circonstance peut indiquer, ou que le calcaire pénéen manque dans ces localités, ou que le grès vosgien en est le représentant. On remarque qu'en Angleterre, dans les localités où le calcaire magnésien vient à manquer, la base du grès bigarré prend des caractères analogues à ceux du grès des Vosges.

§ 167. **Terrain keuprique, ou trias.** — Cette grande formation, qu'on a nommée *trias* parce qu'elle renferme trois parties principales, ce qu'elle a de commun avec plusieurs autres, se compose de dépôts de grès et de marnes chacun très variés de couleurs, ce qui a fait donner aux grès le nom de *grès bigarré*, et aux marnes celui de *marnes irisées*. Un grand dépôt calcaire se trouve entre eux dans certaines localités, mais n'existe pas partout; il manque, par exemple, en Angleterre et dans presque toute la France; nous ne le trouvons, en effet, que dans deux contrées, d'une part sur la pente orientale des Vosges, d'où il se prolonge en Allemagne, où il est aussi parfaitement distinct, et de l'autre dans le département du Var; il est désigné sous le nom de *calcaire conchylien*, *muschelkalk* des Allemands, à cause de la grande quantité de coquilles qu'il renferme.

Le *grès bigarré* est quarzeux, à grain fin, solide, le plus souvent de couleur rouge, mais quelquefois aussi bleuâtre, verdâtre et blanc. On y trouve des dépôts stratiformes de matière très argileuse, variée de couleur, et des couches minces de dolomie, surtout dans les parties supérieures.

Les *marnes irisées* sont composées d'une manière très variable de couches calcaires plus ou moins marneuses et de couches d'argile lie de vin, verdâtre ou bleuâtre, quelquefois de grès qui en

terminent la partie supérieure, comme à Chessy près de Lyon, et en Wurtemberg.

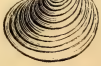
Ces deux membres particuliers du terrain de trias sont fréquemment les seuls qu'on trouve dans un grand nombre de localités. C'est ainsi qu'ils se font remarquer en Angleterre, où on les désigne par l'expression *upper new red sandstone and red marle* (nouveau grès rouge et marne rouge supérieurs). En France, ce sont eux qu'on remarque le plus fréquemment, et qui se présentent seuls dans l'Aveyron, la Corrèze, surtout autour de Brives, dans la partie méridionale du Cher et la partie septentrionale de l'Allier.

§ 168. **Calcaire conchylien.** — Placé entre les deux dépôts précédents, ce calcaire commence par alterner dans le bas avec le grès bigarré, tandis que dans le haut il se confond souvent avec les marnes qui le recouvrent. Il est, en général, compacte, grisâtre, verdâtre ou jaunâtre, et tacheté de ces deux teintes; souvent il est magnésifère à sa partie supérieure, où d'ailleurs il est fréquemment terreux, et passe aux marnes qui vont suivre, parmi lesquelles se trouvent encore quelques lits de calcaire pur ou magnésien. Il renferme une grande quantité de coquilles parmi lesquelles on peut citer comme caractéristiques l'*ammonite à nœuds*, fig. 227; l'*avicula socialis*, fig. 228; la *possidonia minuta*, fig. 229. Il s'y trouve aussi beaucoup d'*encrinites*, surtout de l'espèce *moniliformis*, fig. 230. C'est dans cette formation que se montrent aussi

Fig. 227. *Ammonites nodosus.*

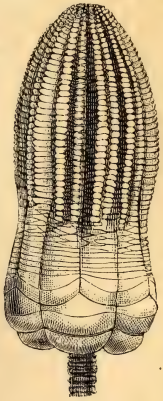
Fig 228. *Avicula socialis.*

Fig. 229.



Possidonia minuta.

Fig. 230.



Encrinites moniliformis.

pour la première fois les *trigonies*, fig. 231, dont les nombreuses espèces se prolongent ensuite jusque dans les dépôts crétacés.

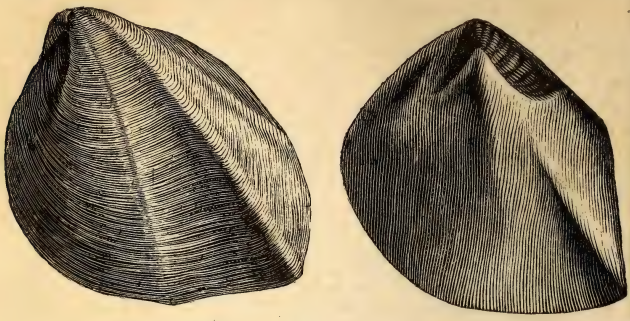


Fig. 231. *Trigonia vulgaris.*

Le calcaire conchylien est assez abondamment répandu dans la Lorraine, où il forme, avec les deux autres membres de la série triasique, toute la partie occidentale des Vosges; on le retrouve aussi sur la rive droite du Rhin, d'où il se prolonge en Allemagne, en couvrant un assez grand espace. Dans le reste de la France on ne le voit plus que dans la partie moyenne du département du Var, depuis Brignolles ou Toulon jusqu'à Antibes.

§ 169. **Débris végétaux du trias.** — Les marnes irisées renferment des débris assez nombreux de plantes des genres *ptérophyllum*, 232, et *nilsonia*, qui paraissent pour la première fois et se rapportent aux cycadées. Les calcaires renferment des plantes du genre *mantellia*, de la même famille, et les grès des espèces par-

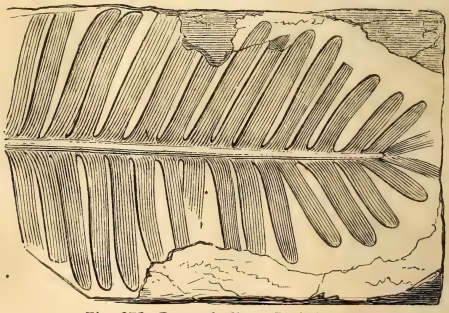


Fig. 232. *Pterophyllum Pleiningerii.*

ticulières de conifères qui constituent le genre *Voltzia*, fig. 233. Les fougères s'y retrouvent encore quelquefois assez abondamment, mais elles présentent des espèces particulières.

Fig. 233. *Voltzia heterophylla.*

§ 170. **Débris de reptiles.** — Il y a aussi dans ces terrains plusieurs espèces de grands reptiles sauriens, qu'on a trouvés, d'une part à Lunéville, de l'autre dans le Wurtemberg et dans le pays de Bareuth. C'est dans le grès bigarré qu'on a observé les empreintes de pas que nous avons cités, § 109, dont les uns indiquent évidemment des oiseaux, et dont les autres, rapportés par quelques naturalistes aux mammifères marsupiaux, appartiendraient, suivant M. Owen, à d'énormes reptiles batraciens.

§ 171. **Dépôts adventifs.** — (*Voyez* § 104.) Ces terrains offrent encore une nouvelle importance sous un autre rapport; c'est dans leur partie supérieure que se trouvent les dépôts salifères exploités en Lorraine, et c'est de là aussi que sortent toutes les sources salifères du Jura. C'est encore la position des dépôts de sel et des sources salifères en Angleterre et dans la plus grande partie de l'Allemagne. Ces dépôts sont toujours accompagnés de masses gypseuses plus ou moins abondantes, que l'on rencontre également seules dans un grand nombre d'autres localités, et notamment dans le midi de la France, partout où le terrain de trias est développé. Les parties supérieures arénacées se sont fait remar-

quer à Chessy, près de Lyon, par les dépôts d'azurite qui ont fourni de magnifiques échantillons à nos collections.

§ 172. **Terrain jurassique.** — Le terrain jurassique, ainsi nommé parce que les montagnes du Jura, qui en sont formées, ont souvent servi de termes de comparaison, occupe une étendue considérable en France, en Angleterre, en Allemagne, et dans toutes les parties de la terre. Il se compose de dépôts alternatifs d'argile plus ou moins sableuse et de calcaires de diverses sortes, fréquemment oolitiques, ce qui lui a valu aussi le nom de *terrain oolitique*. Aucune de ces nombreuses assises n'a encore présenté de discordance de stratification avec les autres, ce qui semble annoncer une longue période de tranquillité à la surface de l'Europe. Néanmoins, pour la facilité de l'étude, on peut, d'après divers caractères, diviser l'ensemble en deux systèmes, et chacun d'eux ensuite en plusieurs groupes.

§ 173. **Système du lias.** — Le système du lias, qui commence la série, peut être considéré comme composé de trois parties. La première, celle qui recouvre immédiatement le trias, présente des matières très variées suivant les diverses localités. Dans certaines contrées, comme en Lorraine et dans le midi de la France, ce sont des grès qu'on nomme *grès du lias*, et qui passent à l'arkose, § 155, dans différents lieux où ils reposent sur les granites, dont ils prennent en quelque sorte peu à peu les caractères ; ils renferment différents dépôts métallifères, comme l'oxyde de manganèse en Bourgogne et en Périgord, l'oxyde vert de chrome près d'Autun, etc. Dans d'autres localités ce sont des calcaires de diverses sortes, comme en Normandie, dans la partie sud de la Bourgogne et dans le Lyonnais, quelquefois pétries de coquilles brisées et constituant des lumachelles plus ou moins solides, entremêlées ailleurs avec des marnes bleuâtres qui finissent aussi par dominer çà et là.

Au-dessus de ce premier dépôt se trouvent des calcaires compactes grisâtres ou bleuâtres, en couches peu épaisses séparées par des lits de marnes feuilletées. C'est à ces calcaires, dont les caractères sont partout assez constants, qu'on donne plus particulièrement le nom de *lias* (prononcez *lèias*), ou de *calcaire à gryphée arquée*, parce que cette coquille s'y trouve en grand nombre.

Enfin dans la partie supérieure se trouvent des calcaires à bélemnites, renfermant peu ou point de gryphées, comme dans le Vivarais et la plus grande partie des Cévennes, ou des marnes qui déjà renferment des oolites ferrugineuses et se lient par là avec le système oolitique.

§ 174. **Coquilles caractéristiques du lias.** — Ce qui forme un caractère très important de ces premiers dépôts jurassiques, c'est l'apparition des bélemnites, dont, jusqu'alors, on n'a pas trouvé de traces ; mais chaque couche, en outre, se distingue par quelques fossiles particuliers que nous allons indiquer.

Les assises inférieures sont caractérisées, suivant M. Leymerie, par la présence du *pecten lugdunensis*, fig. 234, et de diverses espèces d'échinides de la division des diadèmes, fig. 235.

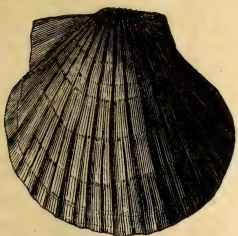


Fig. 234. *Pecten lugdunensis.*

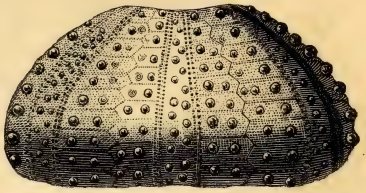


Fig. 235. *Diadema seriale.*

Les assises moyennes, ou le lias proprement dit, se distinguent surtout par la *gryphée arquée*, fig. 236, qui est souvent très abondante, puis l'*ammonite de Buckland*, fig. 237, le *spirifère de Walcot*, fig. 238, par lequel la race s'éteint, la *plicatule épineuse*, fig. 239 ;

Fig. 236. *Gryphæa arcuata.*

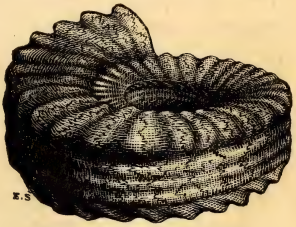


Fig. 237. *Ammonites Bucklandi.*

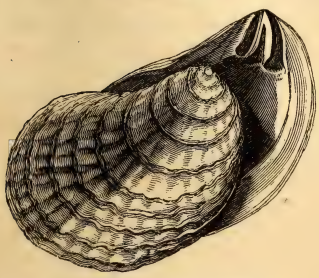


Fig. 239. *Plicatula spinosa.*

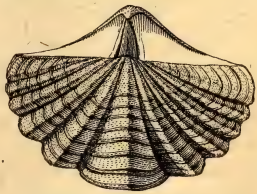


Fig. 238. *Spirifer Walcoti.*

enfin le *plagiostome géant*, fig. 240, qui est assez caractéristique.

La partie supérieure présente plus particulièrement un grand nombre de *bélemnites*, fig. 241 et 242, l'*ammonite de Walcot*, fig. 243, l'*avicule à valves inégales*, fig. 244, etc.

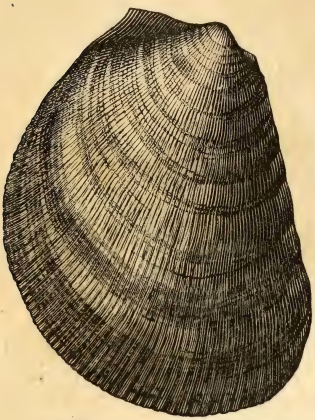


Fig. 240. *Plagiostoma giganteum.*

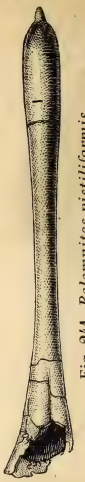


Fig. 241. *Belemnites pistiliformis.*

Fig. 242. *Belemnites sulcatus.*

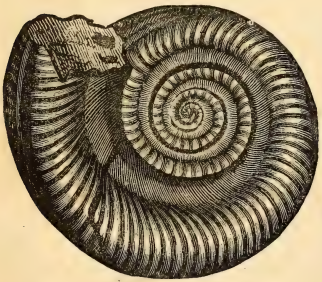


Fig. 243. *Ammonites Walcoti.*

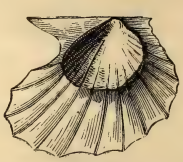


Fig. 244. *Avicula inæquivalvis.*

On trouve encore dans ce groupe diverses coquilles du genre *trigonie*, et, par exemple, fig. 245, qui paraissent exister dans toutes les parties du dépôt; mais les espèces de ce genre, qui fourniraient peut-être des caractères fort importants, n'ont pas encore été assez étudiées sous le rapport du gisement. Elles se prolongent dans toute la série oolitique et jusque dans le terrain crétacé.

Fig. 245, *Trigonia clavellata.*

§ 175. **Reptiles du lias.** — C'est aussi dans le lias que se trouvent pour la première fois ces singuliers sauriens dont l'ostéologie rappelle à la fois les lézards, les crocodiles, les poissons, les mammifères, et dont les pieds, en forme de rames, annoncent une habitation tout aquatique : tels sont les *ichthyosaures*, fig. 246, dont quelques uns devaient avoir plus de 7 mètres de long; les *plésiosaures*, fig. 247, dont quelques individus n'avaient pas moins de 4 mètres, et si remarquables par la longueur de leur cou, qui ressemble au corps d'un serpent par la forme et la structure.

Fig. 246. *Ichthyosaurus communis.*

Fig. 247. *Plesiosaurus dolichodeirus*

C'est également à cet étage de la série jurassique que se trouvent pour la première fois les *ptérodactyles*, fig. 248, genre de saurien volant que la forme de la tête et du cou rapprochent des oiseaux, dont le tronc et la queue se rapportent aux mammifères ordinaires, tandis que les membres rappellent particulièrement ceux des chauves-souris. Ils étaient susceptibles à la fois de marcher et de voler, peut-être aussi de s'accrocher, et de grimper sur les parois à pic des rochers pour chercher leur nourriture.

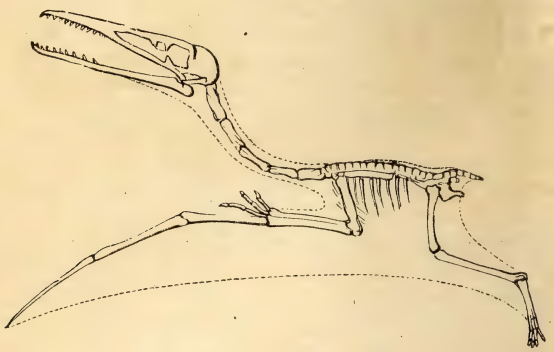


Fig. 248. *Pterodactylus longirostris.*

Ces divers débris des êtres les plus singuliers de la création sont accompagnés, dans le lias de Lime-Regis, sur la côte de Dorset, en Angleterre, d'une immense quantité de coprolites, qui probablement leur appartiennent; quelquefois aussi leurs intestins se trouvent au milieu de leur squelette, et on y remarque alors des restes de poisson et même d'autres reptiles, qui annoncent positivement la manière dont se nourrissaient les espèces aquatiques. Quant aux ptérodactyles, les débris d'insectes qu'on a trouvés avec leurs dépouilles à Solenhofen, en Franconie, indiquent sans doute aussi les animaux qui servaient de nourriture habituelle à ces êtres remarquables.

Les sauriens voisins des crocodiles, paraissent avoir été peu abondants à cette époque; et néanmoins le lias en présente des débris qui prouvent déjà leur existence, et surtout un grand développement de dimension. Celui qu'on a nommé *mégalosaure*, qui tient à la fois du crocodile et du monitor, devait avoir 15 à 20 mètres de longueur.

§ 176. **Poches d'encre.** — Ces débris, fig. 249, qui rappellent les poches d'encre des seiches, et qui atteignent quelquefois un assez grand volume, nous présentent encore une haute importance Ils se trouvent dans le lias de Lime-Regis, avec des osselets dorsaux de calmar qui en présentent parfois les traces, et aussi avec des bélemnites dans les cavités desquelles on en voit également; ils nous éclairent par conséquent sur la nature de ces derniers corps, et en indiquent l'affinité avec quelque céphalopode, dont ils étaient probablement des osselets internes. La *sépia* qu'on peut en tirer est encore aussi bonne que celle qu'on prépare avec la seiche commune, et a servi avec succès pour le lavis.

Fig. 249

Poche d'encre de seiche.

§ 177. **Débris végétaux du lias.** — Les débris de plantes qu'on observe plus particulièrement dans le lias appartiennent à diverses espèces de fougères et surtout aux cycadées : aussi a-t-on pensé que c'était à l'accumulation de ces derniers qu'étaient dus les dépôts de combustible qu'on trouve en différents lieux dans les assises supérieures du groupe, comme au plateau de Larsac dans les Cévennes, et à Witby dans le Yorkshire. Tout porte cependant à croire que c'est plutôt aux conifères, dont le tissu est beaucoup plus ligneux, que sont dues particulièrement ces matières charbonneuses, intermédiaires en quelque sorte entre la houille et les lignites.

§ 178. **Matières adventives.** — Ces terrains renferment aussi du gypse, qu'on exploite en diverses parties des Cévennes, des dépôts salifères exploités à Bex en Suisse, et des dolomies dans le voisinage des roches ignées, § 130, 136 à 139. Dans les points où le grès du lias, reposant sur des roches cristallines, a pris le caractère particulier d'*arkose*, les calcaires qui le recouvrent renferment souvent aussi des dépôts métallifères ; soit des minerais de peroxyde de fer, comme à la Voulte dans l'Ardèche; soit des minerais de plomb, comme dans la Lozère, l'Aveyron, le Lot, etc.

§ 179. **Système oolitique du terrain jurassique.** — Le second système des dépôts jurassiques présente une série de couches calcaires, souvent très épaisses, qui offrent fréquemment le caractère oolitique, et qui sont entremêlées de couches de sable, d'argile et de marnes plus ou moins considérables. Il peut se partager en plusieurs groupes qui se distinguent les uns des autres par leur position relative dans l'échelle de hauteur, et bien plus encore par les fossiles divers qu'on y trouve : tous les débris caractéristiques des groupes précédents ont entièrement disparu.

§ 180. *Groupe de la grande oolite.* — Ce groupe, par lequel commence la série des dépôts oolitiques, présente d'abord des couches marneuses entremêlées de sable, puis des couches d'oolites ferrugineuses et des bancs, souvent très épais, de calcaires compactes empâtant des oolites très fines, des argiles plus ou moins pures et plus ou moins susceptibles de servir de terre à foulon. Le premier de ces dépôts marneux se lie avec les marnes du lias; mais il renferme une nouvelle espèce de *gryphée*, fig. 250,

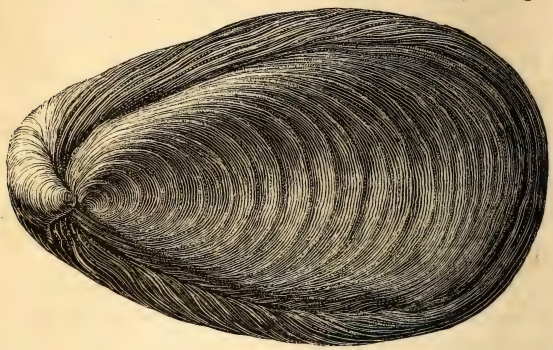


Fig. 250. *Gryphæa cymbium.*

très caractéristique qui ne se trouve pas dans les couches précédentes. Au-dessus se trouvent des marnes fissiles des calcaires pénétrés d'oolites ferrugineuses auxquels succèdent les dépôts de grosses oolites lisses (*great oolit* des Anglais), ou des calcaires plus ou moins compactes, et même terreux et grossiers. quelquefois entièrement formés de débris d'encrinites. Plus haut viennent encore des marnes . des sables, des argiles, des calcaires plus ou moins grossiers, quelquefois remplis de coquilles, et formant des lumachelles : c'est ce que les Anglais nomment *Bradford clay*, *forest marble* et *cornbrasch*.

Malgré les nombreux fossiles, mais souvent brisés et à l'état de moules, que renferme ce groupe, il est difficile d'en citer de bien caractéristiques, et nous n'aurions pas osé établir, sous ce rapport, les différences que présentent, en général, les diverses couches des dépôts jurassiques, sans les bienveillantes communications de M. Leymerie, professeur de la Faculté des sciences de Toulouse, qui a tant étudié ces terrains.

A la *gryphea cymbium*, fig. 250. qui caractérise parfaitement le premier dépôt du groupe qui nous occupe, et en forme en quel-

que sorte un nouvel horizon géognostique, on peut ajouter encore l'*ostrea acuminata*, fig. 251, qui se trouve dans les marnes supérieures, ou les calcaires qui les remplacent, puis divers *térébratules*, fig. 252 à 254, qui paraissent appartenir plus spécialement à l'oolite inférieure, ainsi que la petite espèce globuleuse d'*ammonites*, fig. 255.

Dans les couches calcaires proprement dites se trouvent diverses espèces d'*ammonites*, fig. 256; diverses espèces de *pleurotomaires* qui paraissent assez caractéristiques, fig. 257, et un grand nombre

Fig. 251. *Ostrea acuminata.*

Fig. 252. *Terebratula digona*

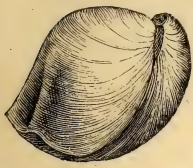


Fig. 253. *Tereb. globata.*

Fig. 254. *Tereb. spinosa.*

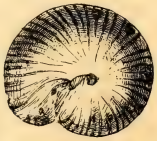


Fig. 255. *Am. Brongniarti.*

Fig. 256. *Amm. striatulus.*

Fig. 257. *Pleurotomaria conoidea.*

de coquilles de diverses sortes. Les encrinites, souvent très nombreuses, paraissent surtout se rapporter aux espèces piriformes (apiocrinites) et semblent quelquefois se trouver dans la place même où elles ont vécu, attachées aux matières consolidées qui composaient le fond des mers, et recouvertes successivement par les dépôts terreux qui se formaient.

§ 181. — Les marnes et les calcaires fissiles qui commencent les couches oolitiques ont aussi présenté un fait important : c'est l'apparition des premiers mammifères fossiles qu'on a découverts dans ce qu'on nomme les schistes de Stonesfield. Ces petits animaux, dont la fig. 258 présente la mâchoire inférieure, appartiennent aux marsupiaux, c'est-à-dire à l'un des ordres les plus imparfaits de la classe. On a rencontré également, dans ces parties des terrains oolitiques, des ossements de grands animaux, qu'on a considérés comme appartenant à des cétacés.

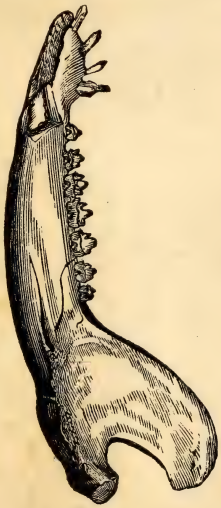


Fig. 258. *Mâchoire du didelphus Bucklandi, double de nature.*

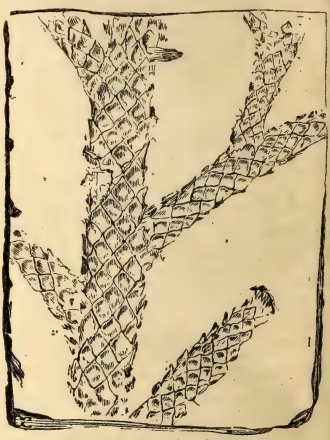


Fig. 259. *Brachyphyllum.*

Les conifères, qu'on ne trouve plus que rarement depuis le calcaire conchylien, se rencontrent assez abondamment dans la série oolitique, sous des genres particuliers, fig. 259, avec des cycadées, fig. 260, des fougères de diverses espèces, toutes différentes de celles qu'on rencontre dans les couches plus anciennes, enfin un véritable *equisetum*, fig. 261.

Fig. 260. *Pterophyllum Williamsonis.*

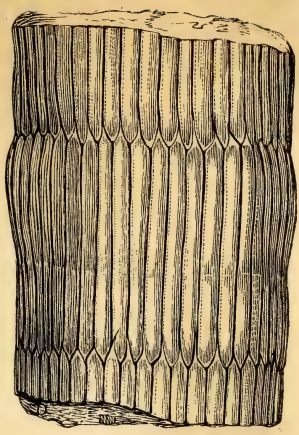


Fig. 261. *Equisetum columnare.*

§ 182. *Groupe oxfordien.* — Moins compliqué que le précédent, ce groupe offre d'abord de puissantes couches d'argile (*Oxford clay*) avec des dépôts plus ou moins marneux et des amas stratoïdes de calcaire. Au-dessus se trouvent des sables et des calcaires, terreux ou compactes, plus ou moins oolitiques et souvent ferrugineux. C'est dans ce groupe que se présentent les dépôts de fer oolitique, qui apparaissent déjà dans le groupe précédent, et qu'on exploite dans la Bourgogne, la Franche-Comté, la Lorraine; ils sont souvent très riches en fossiles, surtout en ammonites, et l'on y cite l'*ananchites bicordatus*, fig. 272, comme très commune.

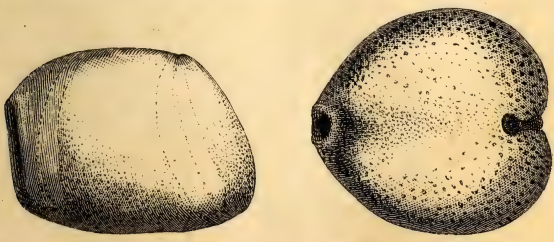


Fig. 262. *Ananchites bicordatus.*

Ce qui caractérise le groupe oxfordien, c'est la présence dans les argiles, souvent en quantité assez abondante, d'une nouvelle

espèce de gryphée, fig. 263, de l'*ostrea Marshii*, fig. 264, qui commence déjà dans le groupe précédent, d'un assez grand nombre de térébratules divers, parmi lesquels se distingue, dans les parties supérieures, la *terebratula Thurmanni*, fig. 265, et la *terebratula impressa*, fig. 266. Les moules des coquilles sont souvent siliceux, et l'on trouve, dans les diverses couches supérieures, des lits de boules silicieuses à tissu lâche, renfermant quelquefois des moules de coquilles, auxquelles on donne le nom de *chailles* dans la Haute-Saône. Il existe d'autres lits de boules de calcaire compacte argilo-siliceux, qu'on nomme *sphérites*. On a quelquefois regardé ce corps comme des débris organiques, ce qui paraît peu probable.

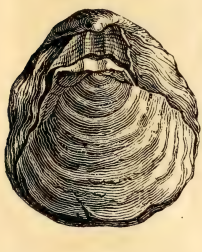


Fig. 263. *Gryphæa dilatata.*

Fig. 264. *Ostrea Marshii.*

Fig. 265. *Tereb. Thurmanni.*

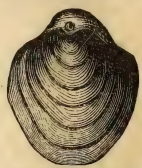


Fig. 266. *Tereb. impressa.*

§ 183. *Groupe coralien.* — Celui-ci est presque entièrement calcaire; il se partage en diverses assises épaisses qui se distinguent les unes des autres par leur structure. Les premiers dépôts sont ordinairement compactes, grisâtres ou jaunâtres, remplis de polypiers qui ont la structure saccharoïde, ou qui sont passés à l'état siliceux: c'est le *coral rag* des Anglais. Les assises suivantes sont, les unes oolitiques, fréquemment à gros grains irréguliers, entremêlés avec des fragments de coquilles roulés; les autres compactes, passant à l'état crayeux, ou même marneux, avec plus ou moins de solidité.

Les polypiers nombreux que renferme ce groupe nous présentent des caryophyllées, des astrées, des méandrines, des madrépores d'un grand nombre d'espèces, approchant plus ou moins de ceux que nous avons cités dans les récifs, § 87, avec beaucoup d'autres genres. Parmi les coquilles, les ammonites sont peu communes: mais au-dessus des oolites, où tous les débris organiques sont brisés, les premières couches renferment une grande quantité de

coquilles diverses, parmi lesquelles on distingue les *nérinées*, fig. 267, 268. Les couches supérieures renferment une grande quantité d'*astartes*, fig. 269, 270, dont la plus caractéristique est l'*astarte minima*. Parmi les autres coquilles, on peut citer le *diceras arietina*, fig. 271; et parmi les échinodermes, le *cidaris coronata*, fig. 272.

Fig. 267. *Nerinea Godhallii.*

Intérieur de la coquille, montrant les plis de la columelle.

Fig. 268. *Nerinea Mosæ.*

Fig. 269. *Astarte minima.*

Fig. 270. *Astarte elegans.*

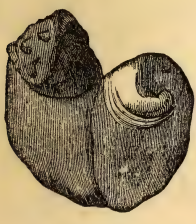


Fig. 271. *Moule et coquille de diceras arietina.*

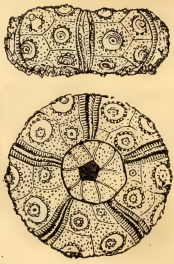


Fig. 272. *Cidaris coronata*

§ 183. *Groupe portlandien.* — Ce dernier groupe est séparé du précédent par de puissants dépôts d'argile (*kimmeridge clay*), au-dessus desquels le terrain jurassique se termine par des alternances de calcaires compactes, marneux, sableux ou oolitiques à très petits grains.

Les débris organiques qui caractérisent ce groupe sont des *huitres* et des *exogyres* d'espèces particulières, fig. 273 et 274, quelquefois d'une telle abondance qu'on peut en quelque sorte les remuer à la pelle. Du reste, avec quelques *ammonites*, on trouve des *myes*, des *pholadomyes*, des *térébratules*, fig. 275 à 277, qui sont également caractéristiques. Certaines couches de ces terrains renferment des *paludines* ou des *hélices*, qui indiquent par conséquent des cours d'eau douce dans les mers de cette époque.

Fig. 274. Fig. 275.

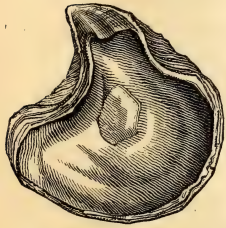


Fig. 273. *Ostrea deltoidea.*

Exogyra virgula.

Pholadomya acuticosta.

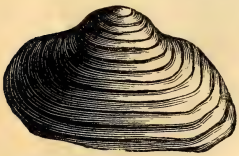


Fig. 276. *Mya rugosa.*

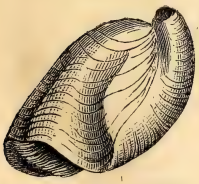


Fig. 277. *Terebratula sella.*

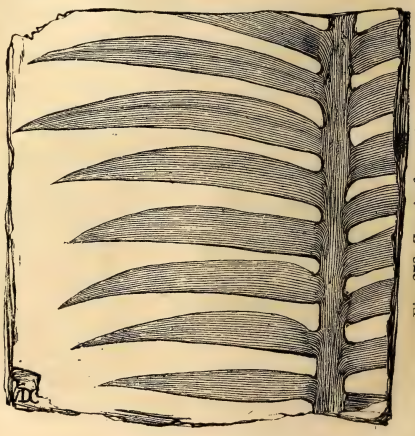


Fig. 278. *Zamia feneonis.*

On rapporte à ces parties supérieures des dépôts jurassiques la pierre lithographique de Solenhofen en Bavière, dans laquelle on a trouvé une immense quantité de fossiles, de reptiles et surtout de ptérodactyles, § 175, de poissons, d'insectes, de plantes, etc.

Les argiles du groupe portlandien, et il en faut dire autant de celles du groupe oxfordien, renferment quelquefois de petits amas de matières combustibles, susceptibles parfois d'exploitation, ordinairement remplies de pyrites, et qui paraissent formées de conifères conservant le tissu ligneux, § 200; il y a aussi des cycadées, dont on trouve les restes fig. 278 dans les dernières couches calcaires du groupe, ou peut-être dans la partie inférieure des terrains crétacés.

§ 184. *Étendue du terrain jurassique.* — Les dépôts jurassiques sont très abondants à la surface du globe. En France, ils forment une espèce de réseau indiqué dans la carte fig. 279, par la teinte noire formée de hachures verticales. Une large bande s'étend des bords de l'océan vers La Rochelle, par Poitiers, Châ-

Fig. 279. *Disposition du terrain jurassique en France.*

teauroux, Bourges, Auxerre, Chaumont, Nancy, jusqu'à Luxembourg et Mézières, où elle se termine aux schistes anciens de l'Eiffel et de l'Ardenne, § 159. Il s'y rattache, dans la partie occidentale, une bande étroite qui, du nord d'Angers, se dirige par Alençon, Argentan, Caen, jusqu'aux rochers de Calvados. Divers lambeaux liés entre eux par la direction, enveloppent le plateau central de la France, par Angoulême, Périgueux, Villefranche d'Aveyron, Montauban, Rodez, Mende, Milhau, Montpellier, Alais, Aubenas, Privas, d'où ils semblent rejoindre les lambeaux qui s'étendent de Beaune à Lyon.

Ce sont ces calcaires qui constituent les montagnes du Jura, étendues de la hauteur de Vienne en Dauphiné jusqu'au Rhin, et qui se lient par Besançon, Vesoul, Langres, à la grande bande transversale. On les reconnaît dans toute l'étendue des Alpes de la Savoie et du Piémont, du Dauphiné, où ils présentent des caractères particuliers, et d'où ils se prolongent dans la Provence. On les retrouve à nu dans quelques points des Pyrénées; d'une part, en Espagne, de Bilbao à la hauteur de Pampelune; de l'autre, en France, entre la vallée d'Ossau et celle de l'Ariége. Çà et là, toutes ces bandes sont plus ou moins morcelées, quelquefois interrompues par les terrains plus récents qui s'étendent au-dessus d'elles dans les parties basses qu'elles présentent.

Le lias domine en bande étroite sur le bord occidental des Vosges, et également tout autour de la partie granitique du Morvan, ou du plateau central de la France. Dans la Lorraine et en Bourgogne, il renferme beaucoup de gryphées arquées; mais dans le Vivarais ce sont les Bélemnites qui le caractérisent.

Le groupe oxfordien est très étendu dans la Franche-Comté et la Lorraine, dans le Poitou, dans le Quercy, dans les Cévennes et aussi en Normandie. Le groupe corallien forme une bande qui va de la Champagne dans la Bourgogne, le Bourbonnais, le Berry, et on le retrouve dans la Saintonge et le Quercy. Enfin, le groupe portlandien se présente sur la lisière extérieure de ces derniers dépôts.

Dans les Alpes, le terrain jurassique est fortement modifié par l'apparition des matières cristallines qui en ont soulevé la masse de toute part, § 137, 139. Au lieu de calcaires ternes, grisâtres ou jaunâtres, compactes ou terreux, on rencontre des marbres colorés de toute espèce, quelquefois des marbres blancs veinés. Les dépôts argileux ou arénacés sont convertis en schistes divers, en grauwackes comparables à celles des terrains anciens, en quarzite, micaschiste, etc., et les matières charbonneuses qu'ils renfermaient sont passées à l'état d'anthracite.

§ 185. **Terrain crétacé inférieur.** — Au-dessus des terrains jurassiques viennent les immenses dépôts crétacés qu'on pourrait partager en plusieurs formations, d'après quelques discordances observées entre leurs assises, mais qu'on ne sépare encore qu'en deux : la partie inférieure, et la partie supérieure. La première présente divers étages que nous allons faire connaître.

§ 186. *Terrain néocomien* (de Neuchâtel, *Neocomium*). — Les premiers dépôts formés sur les tranches relevées du terrain jurassique se composent de marnes, puis de calcaires jaunâtres plus ou moins grossiers, caractérisés par le *spatangus retusus*, fig. 280, et beaucoup de débris de coquilles et de polypiers de divers genres. Ce calcaire est tantôt en couches continues assez épaisses, tantôt

Fig. 280. *Spatangus retusus.*

Fig. 281. *Exogyra subplicata.*

Fig. 282. *Lima elegans.*

en grandes lentilles au milieu des limons marneux et des sables; quelquefois il manque entièrement. Au-dessus se trouvent des argiles grises renfermant une grande quantité d'*exogyres*, fig. 281, et d'huîtres, dont une grande espèce nommée *ostrea Leymerii* : souvent aussi le *lima elegans*, fig. 282. Au milieu de ces argiles se trouvent de grandes lentilles calcaires très aplaties, remplies des mêmes coquilles, et qui offrent des lumachelles confondues avec celles d'exogyra virgula, du groupe portlandien, § 183. Enfin, viennent, du moins dans la Champagne, la Picardie, le Boulonnais,

des sables et des argiles, bigarrés de diverses couleurs, des amas de minerais de fer, ordinairement oolitiques, qu'on exploite dans la Haute Marne et dans l'Aube. Les coquilles ont alors presque entièrement disparu, et ne se montrent plus guère qu'auprès des amas ferrugineux.

Ces derniers dépôts paraissent avoir manqué dans d'autres localités; on trouve alors, comme dans les parties méridionales de la Bourgogne et de la Franche-Comté, dans le Dauphiné et la Provence, peut-être à la base des Pyrénées, des dépôts puissants de calcaires plus ou moins compactes, tantôt blanchâtres, tantôt colorés, qui renferment les mêmes espèces de fossiles, en même temps que plusieurs autres qui sont également caractéristiques. D'abord des coquilles rapportées dans le principe aux dicerates, fig. 269, mais qu'on nomme aujourd'hui *chama ammonia*, fig. 283; elles sont souvent très abondantes, et toujours tellement

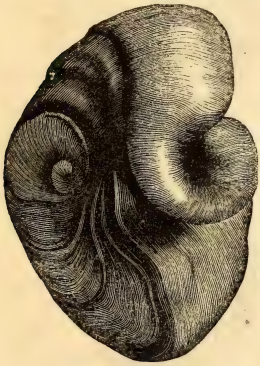


Fig. 283. *Chama ammonia.*

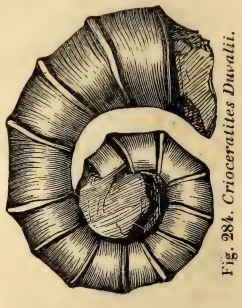


Fig. 284. *Crioceratites Duvalii.*

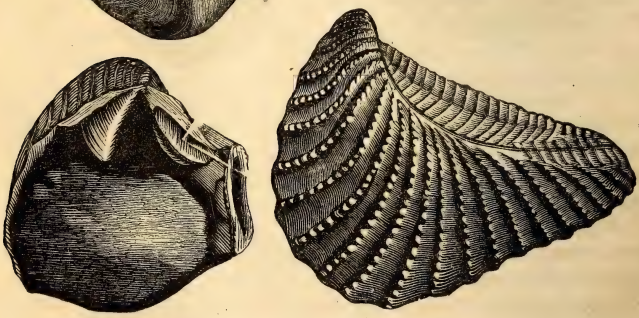


Fig. 285. *Trigonia alæformis.*

empâtées dans la masse de la roche, où elles se distinguent par les sinuosités qu'elles y dessinent, qu'il est très difficile de les en détacher entières. Il s'y trouve aussi diverses espèces d'*ammonites*, des *hamites* gigantesques, plusieurs espèces de *criocératites*, fig. 284, et de bélemnites. Les *trigonies* qui s'y trouvent encore, et qui se continuent dans le grès vert, présentent de nouvelles espèces, fig. 285, qui paraissent être caractéristiques.

Le terrain néocomien, qu'on n'avait pas d'abord distingué des autres parties de la formation crayeuse, ou qu'on avait confondu avec les dépôts jurassiques, est aujourd'hui reconnu comme formation distincte sur une grande partie de la France, en Suisse, dans différentes parties de l'Allemagne, en Pologne et jusque dans la Crimée.

§ 187. *Dépôt wealdien.* — On rencontre fréquemment, au milieu des dépôts crétacés de divers âges, des débris de corps organisés qui paraissent appartenir à des paludines, § 86, 98, et qui annoncent par conséquent çà et là des affluents d'eau douce au milieu des mers où tous les autres débris s'accumulaient. On y rencontre aussi des dépôts de combustibles, qu'on a toujours désignés sous le nom de lignites, formés probablement par des conifères (il n'y avait pas encore de dicotylédones) qui ont été charriés sans doute aussi par les rivières de l'époque : tels sont ceux des environs d'Orthez, dans les Landes; de Bellesta et de Saint-Girons, dans l'Ariége; d'Irun, dans le Guipuscoa, etc. Mais tous ces accidents ne sont rien en comparaison de ceux qui ont été signalés depuis longtemps en Angleterre, dans les parties des comtés de Kent, Surrey et Sussex, désignées sous le nom de *wealds*, d'où est venue, pour les dépôts formés, l'expression de *terrain wealdien*.

Ce terrain se compose de couches alternatives de calcaire, de sables plus ou moins ferrugineux et d'argile, dont les dépôts sont quelquefois extrêmement épais. Il y a des lits entiers de calcaires qui sont composés de paludines, § 86, 98, et qui forment ce qu'on nomme les *calcaires de Purbeck*. Les feuillets des matières argileuses sont couverts de *cyclades* et d'*anodontes*, § 98, fig. 69 à 71, et on y trouve disséminées un grand nombre de petites *cypris*, qui sont des crustacés presque microscopiques des eaux douces. Il y a plusieurs espèces de poissons d'eau douce, des débris de tortues fluviatiles, mêlés à des sauriens marins et terrestres, parmi lesquels le monstrueux *iguanodon*, qui devait avoir plus de 20 mètres de long, à en juger par la grosseur des os, et que toute sa conformation rapproche des iguanes. On y trouve aussi des débris d'oiseaux de l'ordre des échassiers; mais on n'y a pas vu de mammifères, quoi-

qu'on en ait déjà rencontré dans les marnes de la grande oolite, § 181.

Le terrain wealdien renferme aussi des débris divers de végétaux. C'est là que se trouve la *couche de boue* de l'île Portland, pag. 102, où l'on rencontre en place, à l'état siliceux, des troncs de cycadées, fig. 286, au milieu du terreau qui compose la masse du dépôt. On y connaît également diverses espèces de conifères, ainsi que des débris d'équisétacés et de fougères d'espèces particulières.

Fig. 286. *Mantellia nidiformis.*

On croit, par induction, qu'on peut rapporter aux dépôts wealdiens les argiles des environs de Boulogne, qui semblent faire suite à celles d'Angleterre sur la côte méridionale du détroit. On pense aussi que c'est à la même formation qu'appartiennent les argiles de Forges et de Savigny, dans le pays de Bray, où l'on a cité des calcaires à paludines analogues à ceux de Purbeck. Ce qu'il y a de certain, c'est que, d'après les observations de M. Leymerie, ces dépôts se lient avec ceux du département de l'Aube, et font partie des argiles néocomiennes supérieures; s'il y a des indices de dépôts d'eau douce, ils sont la preuve de la liaison du terrain wealdien avec ceux de cette époque.

§ 188. **Grès vert, Craie tufau.** — Des sables blancs, jaunâtres, souvent très ferrugineux, renfermant des amas calcaires; des sables remplis de matières vertes en petits grains très abondants, des couches calcaires, des marnes bleues ou *gault* des Anglais, des argiles, des grès plus ou moins solides, remplis également de matières vertes, tels sont les dépôts qui succèdent à ceux du terrain néocomien, y compris la formation wealdienne, et qui sont même en quelques points en stratification discordante, comme M. Leymerie l'a observé dans le département de l'Aube. On désigne en général ces dépôts sous le nom de *grès vert*, *green sand* des Anglais, qui comprend certains *quadersandstein*, ainsi que le *plœner kalk* des Allemands.

Au-dessus de ces premiers dépôts, la partie calcaire devient souvent plus abondante; elle se mêle d'abord aux grès, puis elle s'isole petit à petit, et bientôt ne renferme plus que les grains verts, d'abord très abondants, mais qui diminuent ensuite successivement. Il en résulte ce qu'on nomme la *craie verte*, ou *craie chloritée*,

qui est tantôt terreuse, tantôt assez solide. Les grains verts finissent par disparaître totalement, et le calcaire se trouve seul, tantôt présentant la craie pure, qui offre plus ou moins de solidité et devient quelquefois très compacte; tantôt offrant des calcaires argileux ou sableux, et enfin des sables ou des grès à peu près purs. C'est alors ce qu'on nomme la *craie tufau*, ou les dépôts qui la représentent.

Débris de coquilles. — Les débris organiques sont en général fort abondants au milieu de ces divers dépôts, et très distincts par les espèces, souvent même par les genres, de tous ceux que nous avons cités dans les terrains précédents. A la base même de ces nouveaux sédiments, on peut citer en France, et en Angleterre immédiatement au-dessus des dépôts wealdiens, une couche marneuse caractérisée par la présence d'une grande espèce d'*exogyre*, de 5 à 6 pouces de diamètre, fig. 287, qui n'a pas paru dans le terrain néocomien. Dans l'est de la France cette bivalve est accompagnée de plusieurs fossiles particulières, et notamment la *plicatula placunea*, fig. 288, qui ne s'est pas encore trouvée à d'autres étages. Quant aux argiles et aux grès qui constituent le dépôt de grès vert proprement dit, on pourrait citer un grand nombre de fossiles caractéristiques, parmi lesquels se trouvent, par exemple,

Fig. 287. *Exogyra sinuata.*

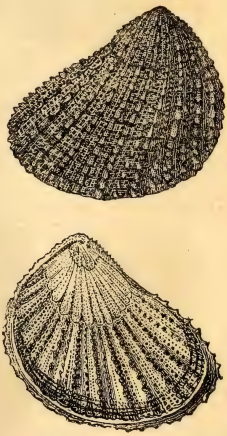


Fig. 288. *Plicatula placunea.*

la *nucula pectinata*, fig. 289, l'*inoceramus concentricus*, fig. 290, plusieurs espèces d'ammonites, et, par exemple, l'*ammonites monile*, fig. 291.

Fig. 289. *Nucula pectinata, coquille et moule.*

Fig. 290. *Inoceramus concentricus.*

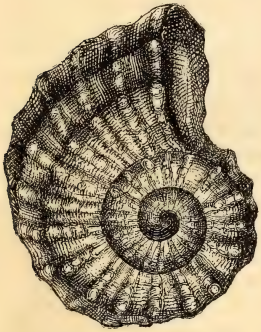


Fig. 291. *Amm. monile.*

Fig. 292. *Baculite.*

Fig. 293. *Turrilites costata.*

Dans la craie tufau nous avons déjà cité les baculites et les turrilites, fig. 291, 292. On peut ajouter les *scaphites*, fig. 294, quelques espèces d'ammonites, fig. 295, 296, puis l'*exogyra*

Fig. 294. *Sraphites æqualis.*

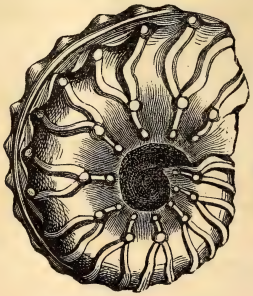


Fig. 295. *Ammonites varians.*

Fig. 296. *Ammonites rothomagensis.*

columba, fig. 297, l'*ostrea carinata*, fig. 298, le *terebratula octoplicata*, fig. 299, qui se continuent dans la craie blanche.

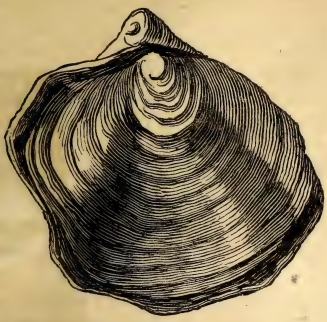


Fig. 297. *Exogyra columba.*

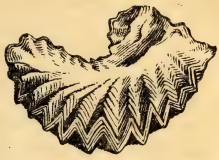


Fig. 298. *Ostrea carinata.*

Fig. 299. *Terebratula octoplicata.*

Débris de poissons. — C'est dans ces terrains que commencent les vrais squales, qui ont remplacé à la fois les poissons sauroïdes du terrain houiller, § 162, et les sauriens nageurs du lias, § 175, dont la voracité semblait avoir été préparée pour poser des limites à l'accroissement trop rapide des autres animaux. Les squales ont été chargés de ce rôle depuis l'époque de la craie jusqu'à nos jours; mais leur taille a dû être dans le principe beaucoup plus grande qu'aujourd'hui, car dans nos espèces de 10 mètres de long les dents n'ont pas plus de 4 à 5 centimètres de hauteur sur 5 à 6 de large à la base, tandis que parmi les débris fossiles nous trouvons de ces organes qui ont jusqu'à 12 centimètres. On estime que l'animal qui les portait devait avoir 20 à 25 mètres, et que la gueule ouverte devait présenter 3 mètres de diamètre.

§ 189. **Terrain crétacé supérieur.** — Au-dessus du grès vert se présente la craie proprement dite, qui dans beaucoup de lieux continue sans interruption la formation précédente, mais qui, dans quelques uns, comme dans la partie orientale du Dauphiné, se trouve avec elle en stratification discordante. Elle est souvent à cet état peu solide, susceptible de se délayer, que nous connaissons dans le blanc d'Espagne, où elle présente une immense quantité de coquilles microscopiques qui appartiennent au groupe des *foraminifères*, § 87, 101. Dans d'autres cas, le dépôt est à l'état sableux ou se trouve remplacé par des grès; quelquefois il est à l'état de calcaire compacte. Très fréquemment blanche, la craie se colore cependant, dans certaines localités, en gris, en

rouge, etc.; elle prend quelquefois aussi le caractère oolitique, et devient presque cristalline, magnésienne même, et cela dans des lieux très éloignés des matières de cristallisation qui auraient pu l'altérer.

La partie inférieure des dépôts est fréquemment salie par les argiles: c'est la *craie marneuse*. Au-dessus la matière devient plus pure, et renferme un grand nombre de rognons de silex qui, par leur réunion, forment des espèces de lits souvent répétés plusieurs fois sous de petites épaisseurs. Cependant ce caractère, quoique très commun, manque dans un grand nombre de lieux, soit que le dépôt auquel il appartient n'ait pas été développé, soit qu'il ait été formé dans des circonstances particulières à l'abri des sources thermales, § 62, 82, 104, qui amenaient la matière siliceuse au milieu des sédiments.

A l'exception des baculites, fig. 292, qu'on trouve encore à Maëstricht, les dépouilles des céphalopodes à cloisons persillées ont complétement disparu dans les terrains crétacés supérieurs; mais il reste des *bélemnites* d'espèces particulières, telles que le *belemnites mucronatus*, fig. 300, et beaucoup de débris organiques divers qu'on ne rencontre pas dans la craie tufau: on peut citer le *plagiostoma spinosum*, fig. 301; l'*ostrea vesicularis*, fig. 302; le *catillus Cuvieri*, fig. 303, dont la structure est fibreuse; la *terebratula Defrancii*, fig. 304; l'*ananchites ovatus*, fig. 305; le *spatangus cor anguinum*, fig. 306, et plusieurs autres sortes d'échinites.

Fig. 300. *Belemnites mucronatus.*

La craie sableuse qui forme à Maëstricht la partie supérieure des dépôts crétacés, se fait remarquer en ce qu'avec les fossiles précédents, elle en renferme d'analogues à ceux du calcaire parisien qui commence la formation suivante, § 193; circonstance qui indique la fin d'un certain ordre de choses et le commencement d'un autre.

C'est dans ces dépôts supérieurs qu'on a trouvé l'énorme saurien connu sous le nom d'animal de Maëstricht. Voisin des iguanes, ce monstre n'avait pas moins de 8 mètres de long, et sa tête, armée d'un formidable appareil dentaire, fig. 307, avait 1 mètre $\frac{1}{2}$. Il constitue le genre *mosasaure*.

La craie nous offre aussi des débris de mammifères cétacés qui se rapportent aux lamantins et aux dauphins.

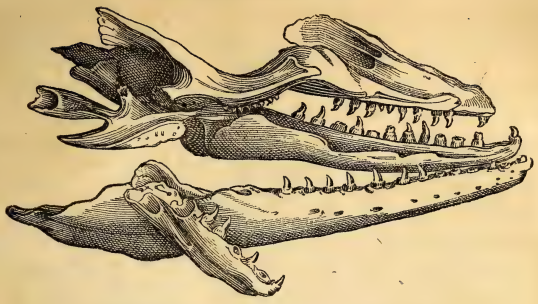


Fig. 307. *Tête du mosasaure de Maëstricht.*

Fig. 301. *Plagiostoma spinosum.*

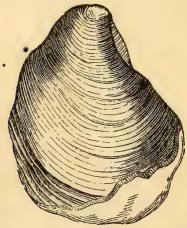


Fig. 303. *Catillus Cuvieri,*

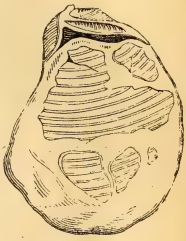


Fig. 302. *Ostrea vesicularis.*

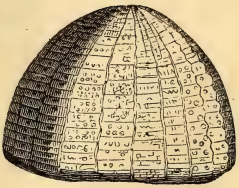


Fig. 305. *Ananchites ovatus.*

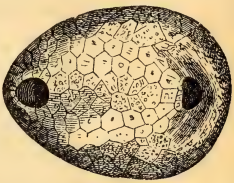


Fig. 304.

Terebratula Defrancii.

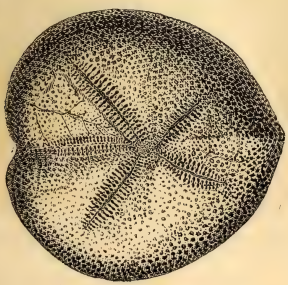


Fig. 306. *Spatangus cor anguinum.*

§ 190. *Calcaire à hippurites.* — Dans le sud-ouest de la France, ainsi que dans les Pyrénées, le terrain crétacé présente des caractères particuliers sous le rapport des débris organiques qu'il renferme. On y rencontre alors un grand nombre de coquilles sans analogues parmi les grands corps vivants, très remarquables d'ailleurs par leurs formes et leur structure particulière, qu'on a désignées sous les noms d'*hippurites*, de *radiolites* et de *sphérulites*, fig. 308 à 310. Il y en a dans les Corbières (auprès

Fig. 308. *Hippurites organisans.*

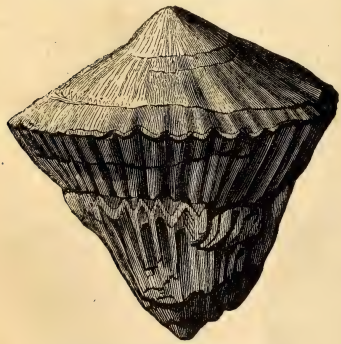


Fig. 309. *Spherulites ventricosa* ou *Radiolites turbinata.*

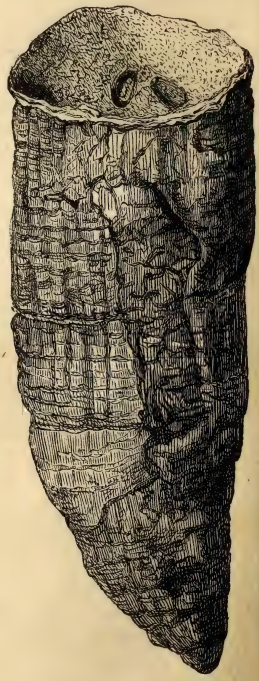


Fig. 310. *Hippurites bioculata.*

des bains de Rennes) un gisement renommé par le nombre et la variété des espèces. Ces corps se trouvent tantôt dans des calcaires presque cristallins, ou compactes et comparables à ceux du Jura, tantôt dans des calcaires marneux, blancs, grisâtres ou noirs, plus ou moins décomposables à l'air, dans des grès calcarifères, quelquefois enfin dans des dépôts qui offrent les caractères ordinaires de la craie. Non seulement on en trouve dans les Pyrénées, principalement dans les Corbières, mais il en existe aussi du même genre, souvent d'espèces différentes, dans les dépôts crétacés du Périgord, de l'Angoumois et de la Saintonge; on en indique dans la craie de Maëstricht, et on en connaît également en Hongrie et en Egypte. Le nombre de ces coquilles est quelquefois très considérable, et les couches qui les renferment en paraissent parfois entièrement formées.

§ 191. *Calcaires à nummulites.* — Au-dessus des couches à hippurites des Corbières, et dans la même stratification, on trouve des dépôts puissants de calcaire qui sont souvent presque entièrement formés de nummulites, fig. 311. Ces dépôts ont cela de remarquable qu'avec quelques fossiles des terrains crétacés, ils en renferment un grand nombre d'autres qu'on avait regardés jusqu'ici comme ne se trouvant que dans le calcaire parisien: tels sont des moules intérieures de Cérites, de Natices, de Turritelles, de Bucardes, etc., coquilles qu'on avait coutume d'indiquer comme caractéristiques des dépôts par lesquels on commence les formations tertiaires, § 193.

Fig. 311. *Calcaire à nummulites des Pyrénées.*

Ces calcaires sont tantôt plus ou moins terreux, tantôt compactes, et souvent de couleurs foncées. Ils sont très abondants, et d'une grande puissance, dans les Corbières, ainsi qu'à la montagne Noire, où ils s'appuient directement sur les tranches des schistes anciens. On les retrouve également tout le long de la chaîne des Pyrénées, en stratification concordante avec les couches qui appartiennent évidemment au terrain crétacé supérieur; ils se prolongent jusqu'à

Bayonne. Ils existent aussi dans les Alpes, au mont Viso, qui forme la limite du Dauphiné, de la Provence et du Piémont, où ils sont en stratification discordante avec le terrain crétacé inférieur. Plus loin ils composent les terrains nommés calcaréo-trappéens du Vicentin, et ils paraissent se retrouver en Corse. On les cite encore en Crimée, au Caucase, en Arménie, du pied de l'Ararat au Taurus. Ils sont encore très abondants en Egypte, où ils ont servi à la construction des pyramides, et constituent des variétés compactes, de couleurs grises, que dans le principe on a rapportées aux calcaires jurassiques. On les indique aussi dans cette contrée comme liés intimement avec les calcaires à hippurites dans lesquels on cite en même temps des baculites, § 188, 189.

A la base de ces dépôts on trouve dans les Corbières et à la montagne Noire, des couches de marnes ou de calcaires, qui atteignent quelquefois jusqu'à 10 mètres de puissance, dans lesquelles on rencontre des coquilles fluviatiles, tantôt seules, tantôt mélangées de coquilles marines; il en résulte qu'il y avait çà et là des affluents d'eau douce au milieu des mers de cette époque; et c'est peut être aussi ce qu'indiquent certains dépôts de lignite qu'on trouve en divers points de la même contrée, et à peu près dans la même position.

Les calcaires à nummulites forment aujourd'hui un sujet de discussion parmi les géologues : les uns, attachant une grande importance à la présence des fossiles du terrain parisien, considèrent ces dépôts comme formant la base des terrains tertiaires; les autres, donnant plus d'attention aux phénomènes qui résultent des grandes catastrophes dont notre globe a été le théâtre, et prenant d'ailleurs en considération la liaison qui existe entre ces dépôts et les couches à hippurites, les considèrent comme terminant la série des terrains crétacés supérieurs, en les assimilant en quelque sorte aux dépôts crétacés de Maëstricht, où le mélange des débris organiques se fait également remarquer, § 189 : c'est le parti que nous prenons ici.

§ 192. *Étendue des terrains crétacés.* — Les divers groupes de terrains dont nous venons de parler § 185 à 191, qui constituent ce qu'on nomme les terrains crétacés, sont d'une étendue immense à la surface du globe. De l'Irlande et de l'Angleterre ils se prolongent en traversant la Manche, d'un côté, par la Normandie, la Touraine, la Sologne, la Saintonge et le Périgord jusque dans les Pyrénées et la partie septentrionale de l'Espagne, dans les îles Baléares, etc. De l'autre côté, partant de la Normandie, ils s'étendent dans la Picardie, l'Artois, la Belgique, puis dans la Cham-

pagne, l'Auxerrois, le Blaisois, entourant ainsi de toutes parts le bassin de Paris. Ils se retrouvent dans plusieurs parties de l'Allemagne, en Danemark, en Suède, en Russie, dans la Pologne, la Podolie, la Gallicie, la Hongrie, où le grès vert, peut-être même le terrain néocomien, compose la plus grande partie des Karpathes. On retrouve ces dépôts en Crimée, au Caucase, et en Arménie, dans l'Asie-Mineure et la Grèce, dans l'Albanie, la Dalmatie, l'Italie, la Sicile, puis dans toute la Provence et dans les Alpes, qu'ils entourent de tous côtés. Ils paraissent encore fort étendus en Égypte, où ils composent peut-être tout le fond du grand désert et les montagnes qui le terminent. Ce sont en général les plus vastes dépôts de sédiment que nous connaissions, et l'épaisseur des différentes parties atteste encore de longues périodes de tranquillité pendant lesquelles les mers d'alors se sont successivement comblées.

La carte générale, fig. 279, peut indiquer aussi, relativement à la France, la disposition des dépôts crétacés. Ils se trouvent, en effet, presque partout, à la partie extérieure des bandes jurassiques que nous y avons indiquées, d'un côté, vers le bassin au centre duquel se trouve Paris; d'un autre, sur les bords du bassin de la Garonne, tout le long des Pyrénées, sur la pente orientale des Cévennes, de Montpellier à Privas, le long des montagnes du Dauphiné, jusque dans la Provence. C'est, en général, le groupe inférieur qui domine dans la plus grande partie de cette étendue, et qui paraît même uniquement dans un grand nombre de localités. Le groupe supérieur ne se montre avec quelque abondance que dans la partie orientale du bassin de Paris, où il est, du reste, fréquemment caché par des dépôts subséquents; il ne forme au-delà qu'une bande légère sur la pente des Pyrénées, et un groupe peu étendu dans la partie orientale du Haut-Dauphiné. Les divers dépôts subordonnés que nous avons indiqués, § 186, 187, 190, 191, ne sont encore connus sur le sol de la France que dans quelques localités que nous avons successivement citées.

Les dépôts crétacés se trouvent modifiés très souvent, comme les dépôts jurassiques, § 184, dans les différents lieux où ils ont été bouleversés par les roches d'origine ignée qui sont sorties de l'intérieur de la terre, ou par les circonstances diverses qui les ont accompagnées : c'est ce qui est arrivé dans les Pyrénées et dans les Alpes, où ils présentent des caractères tels qu'on les a longtemps regardés comme des terrains de transition. Ce fut un grand sujet d'étonnement lorsque M. Brongniart, par la comparaison des fossiles, fit voir que la montagne des Fis près de Chamounix, les Diablerets, au nord-est de Bex, et plusieurs autres parties des

avant-postes des Alpes, appartenaient aux terrains des environs de Paris, et notamment à la craie.

§ 193. **Terrain parisien.** — Des dépôts de sable, d'argile, et de calcaire plus ou moins sableux, telles sont les matières qui constituent la formation dont nous avons à parler. Ces matières ne sont pas superposées, mais se trouvent plutôt accolées les unes aux autres, comme des parties variables d'un même tout. Les sables forment la partie dominante autour de Bruxelles; les argiles caractérisent les dépôts des environs de Londres, et le calcaire, au contraire, est extrêmement développé autour de Paris.

Dépôts des environs de Paris. — C'est à MM. Cuvier et Brongniart qu'on doit les premières recherches sur la formation parisienne, jusqu'alors si négligée, et dont la connaissance a tant contribué à l'avancement de la géologie générale. Au-dessus de la craie se trouvent d'abord des dépôts d'argile nommée *argile plastique*, parce que ses variétés sont propres à la fabrication des poteries. Aux environs de Montereau d'un côté, entre Houdan et Dreux de l'autre, cette argile est remarquable par sa pureté et sa blancheur, et sert à la fabrication des poteries fines. Autour de Paris, elle est au contraire colorée, impure, et ne peut servir que pour les poteries grossières.

L'argile plastique renferme çà et là des lignites, où, pour la première fois peut-être, avec de nombreuses conifères se montrent des phanérogames monocotylédones, de véritables palmiers, et quelques dicotylédones. Il s'y trouve quelquefois des coquilles d'eau douce, et on y reconnaît aussi des coquilles marines dans la partie supérieure, là où elle est en contact avec les calcaires auxquels elle sert de support.

Au-dessus de ces argiles se trouvent çà et là une couche de sable, puis des dépôts calcaires très sableux, et enfin des dépôts puissants de calcaires généralement grossiers, plus ou moins durs, dont les assises, souvent séparées par des couches minces de marnes argileuses, se distinguent les unes des autres par divers caractères. Ces calcaires renferment une quantité prodigieuse de foraminifères, § 101, que du reste on trouve en abondance dans tous les dépôts peu agrégés, et que nous avons citées dans la craie, § 189. Ici elles appartiennent surtout au groupe qu'on a nommé *milliolites*, qui forme les genres *biloculine*, *triloculine*, etc. Il y a des couches qui en sont presque entièrement formées, et les autres en renferment une quantité immense qui servent en quelque sorte de pâte à un nombre très considérable de coquilles diverses.

Les débris organiques de ce nouvel ordre de choses ne présen-

tent plus ni ammonites, ni bélemnites, ni même aucun des échinides que nous avons déjà cités. Les coquilles qu'on y trouve ont beaucoup plus d'analogie avec celles que nous connaissons vivantes, que tout ce que nous avons rencontré jusqu'ici ; les trois centièmes sont même identiques avec ce qui existe aujourd'hui dans nos mers, suivant la remarque de M. Deshayes. Les cérites, d'espèces très variées, y sont tellement abondantes, que le terrain a été souvent désigné sous le nom de *calcaire à cérites*, quoique ces mêmes fossiles se trouvent aussi dans plusieurs autres dépôts, et notamment dans la craie de Maëstricht, le calcaire à nummulites, qui terminent les terrains crétacés, § 189, 191. Une des espèces, le *cerithium giganteum*, fig. 313, est remarquable par la taille, qui va quelquefois jusqu'à 7 décimètres de longueur. L'extrémité en est presque toujours usée ou cassée, par suite sans doute des frottements et des chocs éprouvés pendant la marche de l'animal.

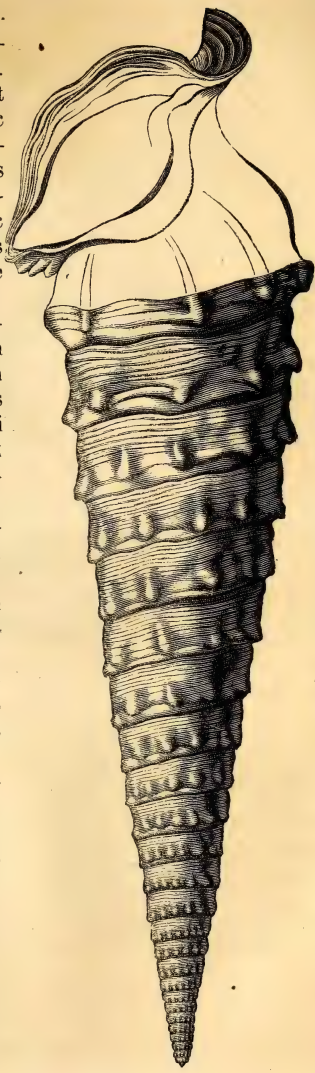


Fig. 313. *Cerithium giganteum très réduit.*

Les autres genres de débris coquilliers ne sont pas moins nombreux, et, dans chacun d'eux, les espèces sont également très variées ; mais il est difficile d'en citer d'absolument caractéristiques. Les unes ne se trouvent pas également dans toutes les localités, et beaucoup d'autres se présentent de nouveau dans les dépôts supérieurs dont nous allons bientôt parler, § 198, etc. On peut

cependant indiquer, du moins comme très fréquentes, la *turritella imbricataria*, fig. 314; l'*ampullaria acuta*, fig. 315; le *terebellum fusiforme*, fig. 316; le *mitra scabra*, fig. 317; le *crassatella sulcata*, fig. 318; le *cardium porulosum*, fig. 319, etc. Les *nummulites* sont quelquefois assez abondantes dans les couches inférieures et dans certaines localités, ce qui a conduit à l'idée qu'elles appartenaient essentiellement aux dépôts de cet âge; elles disparaissent dans les couches supérieures.

Fig. 314. *Turritella imbricataria.*

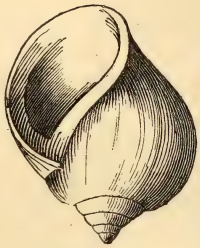


Fig. 315. *Ampullaria acuta.*

Fig. 316. *Terebellum fusiforme.*

Fig. 317. *Mitra scabra.*

Fig. 318. *Crassatella sulcata.*

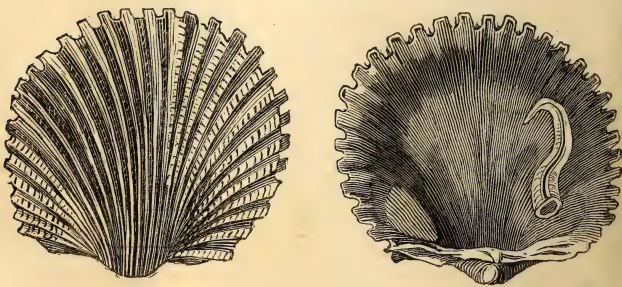


Fig. 319. *Cardium porulosum.*

§ 194. *Calcaire siliceux, meulière et gypse subordonnés.* — S'il s'est fait autour de Paris un dépôt considérable de calcaire grossier,

il s'en est fait en même temps un autre, qui, en certains points, s'adosse ou s'accole au premier, tandis qu'ailleurs il repose immédiatement aussi sur l'argile plastique; c'est le *calcaire siliceux*, matière ordinairement compacte, ainsi nommée parce qu'elle renferme une assez grande quantité de silice, tantôt disséminée uniformément dans la masse, tantôt formant çà et là des amas plus ou moins volumineux, fig. 320, qui constituent la *meulière sans coquilles* exploitée pour la confection des meules de moulin.

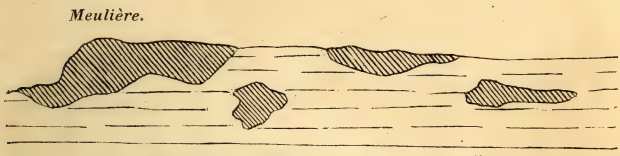


Fig. 320. *Calcaire siliceux avec amas de meulière.*

Ce calcaire, formé probablement à la manière des dépôts adventifs, § 104, par des sources nombreuses, à la fois calcarifères, silicifères et gypsifères, qui s'épanchaient vers les bords du golfe de cette époque, § 247, s'étend principalement dans la Brie, où il présente des dépôts puissants; de là il se prolonge en couches minces autour de Paris, et il renferme alors beaucoup de coquilles fluviatiles, § 98. On le trouve appuyé sur les calcaires grossiers, à Saint-Ouen, et ailleurs, où il est alors recouvert par les dépôts de gypse parisien avec les marnes et les argiles qui les accompagnent. Dans d'autres points on le voit reposer sur les gypses eux-mêmes; de sorte que ceux-ci semblent avoir formé dans le dépôt général une grande lentille, aujourd'hui disloquée par une dénudation postérieure, § 144, qui s'est trouvée à nu sur la rive droite de la Marne et le long de la Seine, comme les amas de meulières sans coquilles se sont trouvées sur la gauche. Ici il faut traverser le calcaire siliceux pour arriver au gypse; là, au contraire, cette matière se trouve au-dessus, et on peut l'exploiter par des galeries horizontales, comme à Montmartre, et dans plusieurs autres des monticules isolés qu'elle forme autour de Paris.

C'est dans la pierre à plâtre qu'ont été reconnus les nombreux débris de mammifères, que le génie de Cuvier est parvenu à débrouiller, et à placer dans la série animale auprès de leurs divers congénères. Tels sont entre autres les *anoplotherium* et *paleotherium*, animaux pachydermes, plus ou moins rapprochés du rhinocéros et du tapir, qui présentent chacun plusieurs espèces.

L'*anoplotherium commune*, fig. 321, était de la taille d'un âne, de forme lourde, à jambes grosses et courtes, ayant une longue queue. Il y en avait des espèces à jambes minces, qui devaient être sveltes et agiles; et on en a trouvé d'autres qui n'avaient que la grosseur d'un lièvre ou même d'un cochon d'Inde, qui cependant étaient adultes.

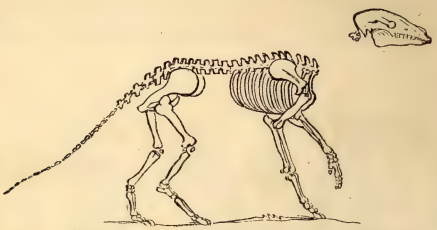


Fig. 321. *Squelette d'anoplotherium commune.*

Le *paleotherium magnum*, fig. 322, était de la taille d'un cheval, et de la forme d'un tapir; mais parmi les espèces il s'en est trouvé et de plus grandes et de plus petites, et même au-dessous de la taille d'un mouton.

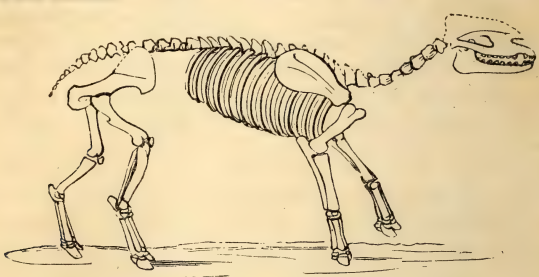


Fig. 322. *Squelette de paleotherium magnum.*

On a rencontré aussi avec ces animaux des débris de sauriens et de chéloniens, et ce sont les portions de carapace de ces derniers qui ont été citées pour des os de crânes humains avant qu'on se fût occupé sérieusement d'ostéologie comparée.

§ 195. *Terrain parisien d'Angleterre, de Belgique, du midi de la France.* — Comme nous l'avons dit, ce n'est pas le calcaire qui s'est développé en Angleterre; c'est une argile, l'*argile de Londres*, au milieu de laquelle se trouvent aussi la plupart des débris de mollusques qui forment le calcaire grossier parisien : l'argile

plastique est remplacée par des sables et des cailloux roulés renfermant des amas argileux. C'est à peu près aussi ce qui se présente en Belgique, où le sable se continue dans toute l'épaisseur du terrain, renfermant seulement des nids calcaires plus ou moins étendus. Le calcaire siliceux, les meulières sans coquilles et le gypse manquent également de part et d'autre. Dans le midi de la France, c'est au contraire le calcaire grossier seul qui s'est développé, sans aucune de ses dépendances, et le gypse ne s'y trouve plus qu'en cristaux.

Il n'y a pas d'amas de combustibles dans les couches du terrain parisien postérieures à l'argile plastique, mais il s'y trouve un assez grand nombre de débris végétaux qui sont disséminés çà et là. Les uns appartiennent à des plantes marines, les autres à des plantes terrestres qui nous offrent des bois et des feuilles de palmiers et des empreintes de dicotylédones.

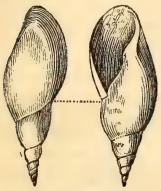
§ 196. *Étendue des terrains parisiens.* — Les dépôts de cette époque géologique sont beaucoup moins répandus que ceux dont nous nous sommes occupé jusqu'ici. Ils ne couvrent qu'un petit espace apparent en Angleterre, dans le bassin de Londres et dans le Southampton, un autre dans le bassin de Paris, où ils sont limités par Paris, Arpajon, Provins, Épernay, Laon, d'où ils s'étendent en Belgique; enfin dans le bassin de la Gironde autour de Bordeaux. Ils sont d'ailleurs recouverts dans les mêmes contrées sur une plus grande étendue, où ils se montrent dans le fond des vallées sous les dépôts subséquents. Il est assez douteux qu'il s'en trouve en d'autres lieux de l'Europe; car divers points où ils ont été indiqués, paraissent appartenir soit au dernier dépôt des terrains crétacés, comme ceux du Vicentin, etc., § 191, soit à la molasse ou même au terrain subapennin.

§ 197. **Terrain de molasse.** *Environs de Paris* — Au-dessus des gypses parisiens et des matières argileuses qui les accompagnent, se trouvent des dépôts de sables souvent d'une très grande épaisseur, et d'abord colorés par l'hydroxyde de fer, puis blancs et purs. Ces sables forment souvent alors des masses de grès qui tantôt n'offrent aucun débris organique, ou seulement des coquilles roulées du calcaire grossier, tantôt, au contraire, renferment des coquilles qui ont toutes perdu leur test, et n'ont laissé que leurs empreintes. La forêt de Fontainebleau nous présente les grès purs, en quelque sorte cristallins, qui servent au pavage de Paris; Montmartre et plusieurs points de la forêt de Montmorency, etc., nous offrent des grès coquilliers.

Sur ces grès reposent de nouveaux dépôts lacustres formant

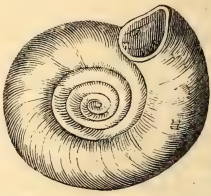
tantôt les *meulières coquillières* remplies de *lymnées*, fig. 323, de *planorbes*, fig. 324, de graines de *chara* ou *gyrogonites*, fig. 325; tantôt des calcaires plus ou moins purs. La meulière se trouve en amas sur toutes les hauteurs des environs de Paris, au-dessus des sables jaunes, et en relation avec des dépôts argileux, § 104; le calcaire se montre autour de Fontainebleau et dans un grand nombre d'autres lieux.

Fig. 323.



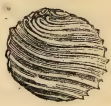
Lymnea longiscata.

Fig. 324.



Planorbis evomphalus.

Fig. 325.



Chara medicagenula extrêmement grossi.

198. *Molasse du midi.* — Les grès analogues à ceux de Fontainebleau ne se trouvent guère qu'en Provence, entre Aix et Apt, où, recouverts par des calcaires d'eau douce, les parties sableuses présentent aussi les formes empruntées au carbonate de chaux que les dépôts de Fontainebleau nous ont offert (*Minéralogie*, § 34). Le plus ordinairement, dans le midi, le terrain commence, au-dessus du calcaire grossier, par des dépôts d'eau douce où l'on retrouve les gyrogonites, et qui sont tantôt calcaires, comme dans l'Agenais, tantôt arénacés, comme aux environs de Toulouse et dans tout le Languedoc. Dans ces derniers cas c'est un grès argilo-calcaire, comme les molasses inférieures de la Suisse, des bords du Rhône et de la Provence. Souvent aussi ces dépôts sont entremêlés, ou plutôt le calcaire se trouve subordonné au grès. Ces premiers sédiments sont recouverts par des molasses marines, ou par des dépôts fragmentaires de coquilles, connus en Touraine sous le nom de *faluns*, et qu'on retrouve avec les mêmes caractères dans les Landes.

Ces dépôts marins des faluns, quoique très abondants en coquilles, n'ont cependant pas offert un aussi grand nombre d'espèces que le calcaire grossier parisien; et néanmoins, d'après M. Deshayes, les dix-huit centièmes de ces espèces sont identiques avec celles qui vivent aujourd'hui dans nos mers, différence considérable avec la proportion que nous avons fait remarquer dans le terrain parisien, § 193. Du reste, il y a fréquemment la plus

grande analogie entre ces nouveaux dépôts et les calcaires inférieurs avec lesquels ils ont été confondus; mais si l'on remarque ainsi un facies commun, si l'on trouve souvent les mêmes coquilles de part et d'autre, il y a cependant des différences essentielles. D'un côté, on ne trouve plus les espèces que nous avons indiquées dans les dépôts inférieurs, plus de *cerithium giganteum*, de *cardium porulosum*, etc.; de l'autre, on y rencontre de nouveaux débris, tels que le *balanus crassus*, fig. 326; le *rostellaria pespelecani*, fig. 327; le *pecten pleuronectes*, fig. 328, etc., que jamais on n'a trouvés dans le terrain parisien, mais qui existent dans le terrain subapennin, dont nous allons bientôt parler.

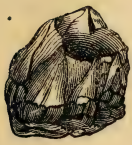


Fig. 326. *Balanus crassus.*

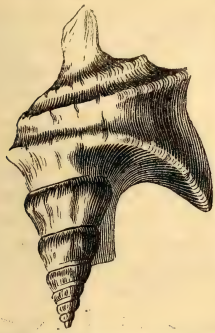


Fig. 327. *Rostellaria pespelecani.*

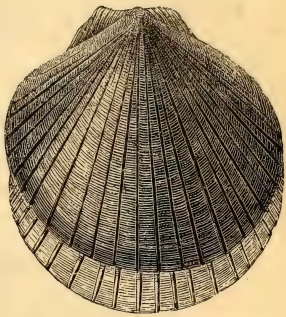


Fig. 328. *Pecten pleuronectes.*

§ 199. *Mammifères de la molasse.* — Les terrains qui se rapportent à cette époque de formation renferment encore diverses espèces de *paleotherium*, mais différentes de celles qui ont été trouvées dans le gypse parisien. On y rencontre aussi plusieurs autres animaux, qui constituent des genres dont on n'a trouvé aucune trace dans tout ce qui précède, et qui disparaissent entièrement à l'époque suivante. C'est là en effet que se trouvent les débris de *mastodontes*, animaux analogues à l'éléphant, mais dont les dents, fig. 329, ont leurs couronnes hérissées de pointes coniques, au lieu d'être plates. On y reconnaît aussi le *dinotherium giganteum*, animal voisin

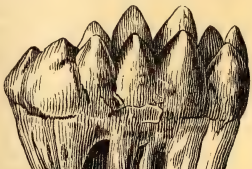


Fig. 329. *Dent de mastodonte très reduite.*

du tapir, qui devait avoir 6 mètres de long, et qui est surtout remarquable au premier aspect par ses défenses recourbées vers le bas, fig. 330. Il fut trouvé d'abord dans la Hesse, puis auprès d'Auch par M. Lartet, qui y rencontra plus tard des ossements de singes. Enfin les débris de rhinocéros, d'Hippopotame, de castor, appartiennent également à ces dépôts.

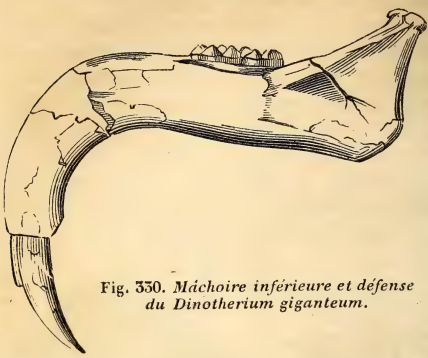


Fig. 330. *Máchoire inférieure et défense du Dinotherium giganteum.*

§ 200 *Débris végétaux et combustibles.* — La molasse est très riche en combustible; elle renferme les lignites du Languedoc, de la Provence, de la Suisse, la plupart de ceux de l'Allemagne, aussi bien que la terre de Cologne. Tous ces lignites paraissent encore avoir été formés principalement par les conifères, dont on reconnaît le tissu, fig. 331, dans la masse même de combustible ou dans les bois disséminés au milieu des divers dépôts.

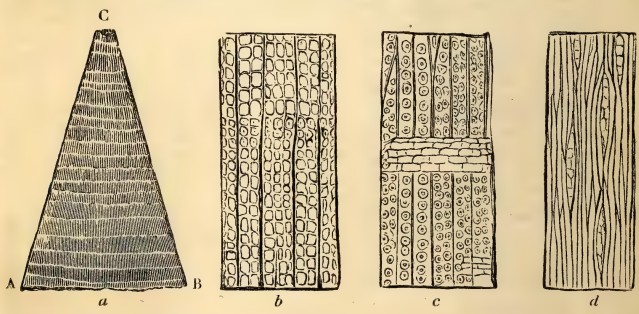


Fig. 331. *Structure des bois de conifères.*

a Portion de coupe transversale de grandeur naturelle.
b Portion de la même coupe vue au microscope.
c Coupe longitudinale dans le sens BC, également grossie.
d Coupe dans le sens AB.

On connaît cependant aussi dans ce terrain beaucoup de plantes dicotylédones, dont on trouve çà et là des bois disséminés, quel-

quefois à l'état siliceux, et montrant clairement le tissu propre à cette classe de végétaux, fig. 332, caractérisé surtout par la présence des grands vaisseaux longitudinaux.

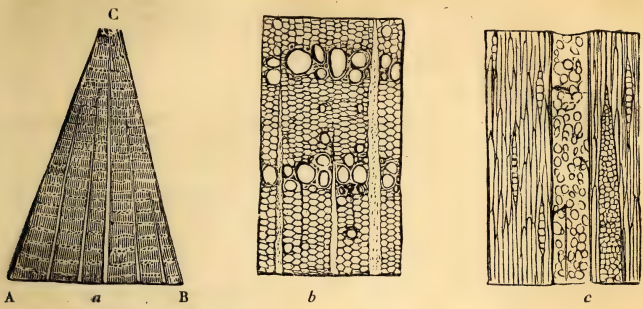


Fig. 332. *Structure des bois de dicotylédones.*

a Portion de coupe transversale de grandeur naturelle.
b Portion de la même coupe vue au microscope et montrant les grands vaisseaux.
c Coupe longitudinale suivant AB, montrant la structure des rayons médullaires et celle d'un grand vaisseau.

Il existe aussi des feuilles, souvent assez nombreuses, même dans les argiles qui accompagnent les lignites, où l'on reconnaît distinctement les caractères que présentent celles de nos dicotylédones actuelles, telles que noyers, érables, ormes, bouleaux, etc., fig. 333, 334. Il existe même des fruits que souvent on ne peut distinguer de ceux qui se trouvent aujourd'hui dans nos climats.

Fig. 333. *Feuille d'orme indéterminé.*

Fig. 334. *Comptonia acutiloba.*

Enfin il se trouve dans ce terrain, soit au milieu même des dépôts de combustibles, comme à Liblar près de Cologne, soit dans

les matières argileuses ou sableuses de la formation, des débris de plantes monocotylédones : il y a des bois qui présentent toute la structure des palmiers ; c'est-à-dire un assemblage de faisceaux ligneux disposés longitudinalement, sans régularité, au milieu d'un tissu cellulaire, comme fig. 335. Il s'y présente également des feuilles, comme fig. 336.

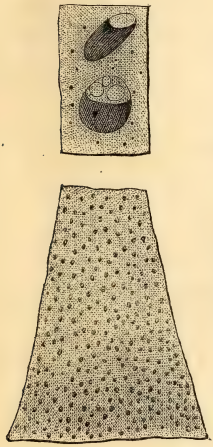


Fig. 335. *Structure des bois de palmier, naturelle et grossie.*

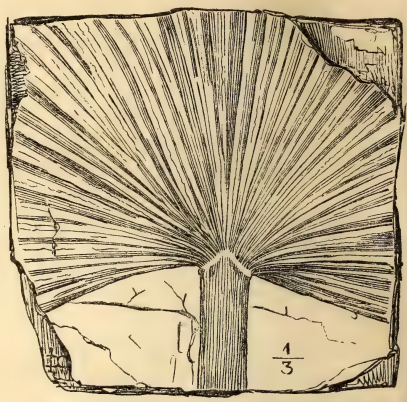


Fig. 336. *Palmacites Lamanonis.*

§ 201. *Gypses et minerais de fer subordonnés.* — On trouve dans la molasse des gypses analogues à ceux des terrains parisiens, ce qui a conduit à supposer qu'ils étaient de la même époque ; mais, outre que la contrée où ils existent est toute formée de molasse, les débris qu'on y trouve appartiennent à des espèces particulières. Ces gypses constituent les dépôts d'Aix en Provence, et ceux qu'on exploite entre Narbonne et Sijean.

Il existe aussi dans ce terrain des dépôts d'oxyde de fer qui deviennent quelquefois assez abondants pour être exploités : tels sont les minerais superficiels du Berry et du Nivernais, les gisements analogues de l'Angoumois et du Périgord, qui semblent être les représentants des sables jaunes des environs de Paris, où il se trouve déjà des parties très ferrugineuses qu'on connaît sous le nom de *roussier*.

§ 202. *Étendue de la molasse.* — Aux environs de Paris, le terrain de molasse se trouve, sur la droite de la Seine, au sommet de tous les monticules qui dominent le calcaire grossier ou le

calcaire siliceux, et se prolonge aussi jusqu'à la Manche sur les sommités de la craie. Sur la gauche, il couvre sans interruption une étendue considérable, au nord jusqu'à Elbeuf, à l'ouest jusqu'à Nogent-le-Rotrou, et au sud, par l'Orléanais, la Touraine, le Berry jusque dans les infractuosités de la bande jurassique qui traverse la France de l'ouest vers l'est. On le retrouve dans tout le bassin de la Garonne, soit au fond des vallées, comme dans la partie occidentale; soit sur tout le terrain, comme dans la partie orientale, d'où il rejoint par Carcassone, Béziers, Avignon, les dépôts de la vallée du Rhône et de la Provence entre les lambeaux du grès vert. Les dépôts lacustres du Puy-en-Velay, d'Aurillac au pied du Cantal, de Clermont et du Bourbonnais, appartiennent à cette époque aussi bien que tous les petits dépôts coquilliers qu'on trouve au milieu des terrains antérieurs du Poitou, de la Bretagne et de la Normandie.

On retrouve le terrain de molasse dans toutes les parties de l'Europe; il constitue toute la vallée de la Suisse, où il se lie à des poudingues nommés *nagelflue*; il passe dans la Bavière, en Autriche, en Hongrie, en Pologne, etc. Il est aussi très répandu en Italie, d'où il vient se lier aux dépôts de la Provence et du Languedoc; enfin il se retrouve dans toutes les parties basses de l'Espagne et tout le long des pentes septentrionales des Pyrénées, d'où il se prolonge dans l'ouest de la France.

§ 203. **Terrain subapennin.** — Au-dessus de la molasse se présentent encore d'autres dépôts, tantôt lacustres, tantôt marins, qui se trouvent avec elle en stratification discordante, et annoncent par cela même une nouvelle époque de formation. Les dépôts lacustres, qu'on observe particulièrement dans la Bresse, où commence un vaste bassin qui s'étend jusqu'à Valence, sont composés de dépôts alternatifs de galets plus ou moins volumineux, de sables et d'argile grossière, dont l'un ou l'autre domine suivant les localités, et au milieu desquels se trouvent çà et là des amas qui renferment des coquilles fluviatiles.

Les dépôts marins, qui constituent principalement les collines subapennines, étendues depuis Turin jusqu'à l'extrémité de l'Italie, se composent principalement de matières sableuses, renfermant des couches de marnes plus ou moins calcarifères. Il s'y trouve une assez grande quantité de coquilles marines, dont les cinquante centièmes, suivant la remarque de M. Deshayes, sont identiques avec celles des mollusques actuels de la Méditerranée. Ainsi il y a progression croissante, puisque les calcaires parisiens ne renferment que trois centièmes de coquilles analogues

à celles de l'époque actuelle, la molasse coquillière dix-huit centièmes, et qu'ici nous arrivons à la moitié. Il ne reste donc presque plus rien d'analogue au calcaire parisien dans la formation subapennine. Outre le *balanus crassus* et le *rostellaria pespelecani*, § 198, on peut citer le *pleurotoma rotata*, fig. 337; le *buccinum prismaticum*, fig. 338; le *voluta Lamberti*, fig. 339, etc., et la

Fig. 337. *Pleurotoma rotata.*

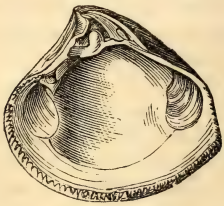
Fig. 338. *Buccinum prismaticum.*

Fig. 339. *Voluta Lamberti.*

Fig. 340.

Murex alveolatus.

Fig. 341.



Astarte Basteroti.

Fig. 342.

Cypræa coccinelloides.

plupart des coquilles de la Méditerranée. La Sicile et la Sardaigne renferment des dépôts analogues, et l'on en trouve aux environs de Nice, de Marseille, de Montpellier, de Perpignan. Le *crag* d'Angleterre, dans le comté de Suffolk, s'y rapporte également, et les coquilles qu'on y trouve sont aussi celles de l'époque actuelle, fig. 340 à 342, etc.

Ces terrains, qu'on peut nommer indifféremment *terrain subapennin* ou *terrain de la Bresse*, suivant les lieux où ils sont de formation marine ou de formation fluviatile, sont encore assez répandus. En France, les dépôts de la Bresse s'étendent de Dijon et Besançon jusque vers Valence, sur la longueur de la Saône et du Rhône;

il se trouve un bassin semblable en Provence, entre Digne, Sisteron, Forcalquier et Manosque; et un autre dans la partie méridionale de l'Alsace, qui se cache au nord sous les alluvions.

Ces dépôts constituent aussi les sables des Landes, étendus sur le terrain de molasse de la rive gauche de la Garonne à l'Océan, et couvrant toutes les collines comprises entre les ruisseaux qui descendent des Pyrénées et de la Montagne-Noire. On doit y rapporter aussi les dépôts de Boulade et de Perriers, près d'Issoire en Auvergne, où MM. Jobert et Crozet ont trouvé tant d'ossements enfouis. Il s'y rattache également un assez grand nombre de dépôts partiels répandus sur la pellicule de molasse qui couvre la craie de la Normandie, de la Picardie, de l'Artois, et qui semblent se lier avec ceux des comtés de Suffolk et de Norfolk.

Ces dépôts renferment encore des amas de lignites qui sont exploités avec avantage dans diverses localités. Les uns présentent des couches réglées de combustible compacte, accompagnées de coquilles d'eau douce, comme à Paumiers (Isère), ce qui annonce des dépôts tranquilles et lents dans des lacs; mais le plus grand nombre, comme aux environs de la Tour-du-Pin et en plusieurs points de la Haute-Saône, n'offrent que des amas irréguliers de bois dont les uns présentent le tissu des conifères, les autres celui des dicotylédones. Il y a également un très grand nombre de feuilles analogues à celles de nos dicotylédones actuelles.

C'est de l'époque du terrain subapennin que date le remplissage des fentes du terrain jurassique, soit par des minerais de fer en grains, fig. 148, qu'on trouve aussi répandus dans tout le dépôt de la Bresse et du Bas-Rhin; soit par des brèches osseuses, comme à Cette, à Antibes, à Nice, à Gibraltar. C'est alors que vivaient les éléphants, ainsi que les mammifères carnassiers dont nous trouvons aujourd'hui les débris dans les cavernes qui leur servaient d'habitation, et dont il est nécessaire de donner une idée succincte.

§ 204. *Cavernes à ossements.* — Les cavernes les plus anciennement connues par les débris des mammifères qu'elles renferment, sont celles du Harz et de la Franconie; mais depuis que M. Buckland a fait voir qu'il fallait déblayer les limons, les sables, les cailloux roulés, les stalagmites, qui ont souvent recouvert les ossements, on a trouvé de ces débris partout où jusqu'alors on ne les avait pas soupçonnés.

La plupart de ces cavernes ont eu jadis des ouvertures latérales, souvent encore libres aujourd'hui, qui ont pu donner accès aux animaux de l'époque. Ceux-ci, sans doute, pendant de nom-

breuses générations, seront venus s'y réfugier, y traîner leur proie, y terminer successivement leur existence. De là accumulation de leurs ossements, que nous trouvons dans un terreau noir, fétide, qui provient sans doute de la décomposition de leur chair, et dans lequel se reconnaissent aussi leurs déjections. Le plus grand nombre de ces débris appartiennent à des *ours*, dont deux espèces plus grandes que nos races actuelles ; ou bien à des *hyènes*, plus fortes aussi que celles que nous connaissons vivantes : c'est tantôt l'un, tantôt l'autre de ces genres qui domine. On trouve aussi une espèce de *loup*, très abondante, dans les cavernes à ours de Galainreuth en Franconie ; mais les autres carnassiers du genre chien, et ceux du genre chat, qui offrent des espèces de *jaguars*, sont partout en très petit nombre. Du reste, on y trouve des débris de *rongeurs*, de *ruminants*, même de grands *pachydermes*, et d'*oiseaux*, qui ont été sans doute la proie des premiers, ce que montrent les empreintes de dents qu'on voit quelquefois sur leurs os.

On reconnaît souvent avec évidence qu'il s'est passé dans ces cavernes des événements particuliers depuis que les ossements y ont été déposés. Tantôt le dépôt est recouvert par une couche de limon, annonçant qu'à une certaine époque des eaux bourbeuses ont dû pénétrer dans la cavité ; tantôt on voit clairement que les ossements ont dû être remués par des eaux violemment agitées, car ils sont dispersés irrégulièrement dans le limon même, et ne présentent jamais de squelettes entiers. Quelquefois des portions de stalactites brisées, des cailloux roulés, étrangers même aux terrains environnants, s'y trouvent introduits, ce qui annonce la force d'entraînement des eaux. Mais ce n'est qu'en certains points de la caverne qu'on trouve ces cailloux avec un peu d'abondance, et il arrive quelquefois que les ossements sont brisés dans un point de l'espace qui les renferme, lorsque partout ailleurs ils sont intacts et mêlés comme d'ordinaire avec des matières terreuses. Il semble, dans ce cas, qu'une masse d'eau soit tombée avec force de la partie supérieure par quelque crevasse passagère, et que c'est à l'endroit de la chute que le grand bouleversement a eu lieu, que les cailloux se sont rassemblés et que les os ont été brisés. Ces événements passagers n'ont cependant pas chassé pour toujours les hôtes de ces cavernes : les mêmes genres d'animaux, ou des genres différents, y sont revenus quelquefois, même à plusieurs reprises, et l'on reconnaît sur la couche de limon les traces de leur passage, quelquefois même leurs débris ; souvent les anciens ossements ont été usés sous les pas des animaux venus postérieurement.

A ces accidents ont succédé souvent les formations lentes de sta-

lactites ; des eaux chargées de carbonate de chaux ont quelquefois pénétré le dépôt général, lui ont donné de la consistance, et l'ont recouvert de stalagmites, qui séparent même quelquefois différents lits d'ossements. Cependant, en certains lieux, comme en Allemagne, cette nouvelle formation a été peu importante, et n'a pas masqué entièrement les débris ; dans d'autres, elle est même à peu près nulle, et le sol est encore celui que les ours et les hyènes de l'ancien monde ont foulé. Quelques unes de ces cavernes semblent aussi avoir servi postérieurement de refuge à l'homme, dont on y trouve parfois les débris, ainsi que ceux d'une industrie naissante, en contact, ou même mélangés, avec les restes de tout ce qui l'a précédé sur la terre. Le simple contact ne conduit à aucune conséquence d'âge relatif; et quant au mélange, serait-il étonnant que quelque averse eût fait pénétrer de nouvelles eaux dans ces cavités, en eût remué le dépôt actuel, confondu dans le même tas l'ancien et le moderne, et donné ainsi un faux air de contemporanéité à des êtres séparés par des milliers de siècles ?

Ce que nous venons de dire convient à un certain nombre de cavernes, qui ont été évidemment les repaires des animaux dont elles présentent les débris. Mais il y en a d'autres où les choses ont dû se passer autrement, où l'on n'observe pas d'entrée latérale, où les ossements sont disloqués, plus ou moins brisés, mêlés avec des débris de roches et des cailloux roulés, qui remplissent souvent toute la cavité. On suppose alors que les fentes verticales par lesquelles on pénètre aujourd'hui, et qu'on a découvertes accidentellement, ont donné passage aux eaux qui entraînaient, avec des débris minéraux, soit les cadavres des animaux, soit même les ossements déjà décharnés. On est d'autant plus porté à cette hypothèse que ce ne sont pas toujours des débris d'animaux qui recherchent les tanières, comme les ours et les hyènes : mais souvent des ruminants, des pachydermes, des carnassiers et des rongeurs, qui vivent toujours en plein air.

On reconnaît le même phénomène dans le remplissage des fentes et des cavités correspondantes du calcaire jurassique, par des minerais de fer mêlés parfois d'ossements ; comme aussi l'on conçoit les brèches osseuses, occupant également des fentes, et liées sur toutes les côtes de la Méditerranée par un ciment ferrugineux qui renferme quelquefois des coquilles marines. C'est par un transport aussi qu'on peut expliquer la présence des ossements de cétacés dans les cavernes de la Sicile, qui ont dû nécessairement se remplir lorsqu'elles étaient au-dessous des mers.

Les cavernes à ossements se trouvent plus particulièrement dans

le calcaire du Jura ; elles deviennent rares dans la craie, et cependant il y en existe encore et même jusque dans la molasse ; il n'y en a plus dans les dépôts supérieurs. Les animaux dont elles renferment les débris ont certainement habité les lieux à une époque reculée dont nous fixerons plus tard l'âge relatif ; et ce qui le prouve, c'est leur état de conservation et l'absence de toute trace de roulis annonçant avec certitude qu'ils n'ont pu venir de loin ; c'est enfin la découverte de dépôts de même nature à la Nouvelle-Hollande, où l'on n'a trouvé que les genres d'animaux si particuliers à cette contrée, § 112, c'est-à-dire des kanguroos, des dasyures, etc., mêlés à quelques débris d'éléphants.

§ 205. **Alluvions anciennes.** — Nous nommons alluvions anciennes les dépôts postérieurs aux terrains subapennins, et antérieurs à ce qui se fait aujourd'hui, ou à ce qui s'est fait depuis les temps historiques, dans les rivières, les mers, les lacs et les flaques d'eau de notre ère. Ces dépôts annoncent fréquemment d'immenses transports, de grands accidents d'érosion dont nos rivières actuelles sont incapables ; ils se trouvent à des niveaux que les eaux actuelles ne peuvent atteindre, sur des étendues qu'elles ne peuvent couvrir, et il est évident qu'ils ont été fréquemment sillonnés par les courants modernes, qui y ont établi leur lit, et y déposent journellement des débris nouveaux, § 122.

Ces dépôts ont couvert tous nos continents et varient en général suivant les lieux qui en ont fourni les matériaux ; ce sont eux qu'on a nommés *diluvium*, en les regardant comme le résultat du déluge universel dont le récit est exposé dans la *Bible*, et dont la tradition se trouve chez tous les peuples. Il est à croire cependant qu'ils n'ont pas de rapport avec ce fait imposant ; car nulle part, en Europe du moins, il n'y existe de débris humains, qui cependant s'y seraient évidemment conservés, tout aussi bien que ceux des éléphants et de tous les animaux qui ont péri dans la catastrophe.

Le sol de Paris et les plaines qui longent la Seine présentent des dépôts de sables et de graviers qui appartiennent à ces alluvions. On y reconnaît des cailloux roulés qui se rapportent au calcaire siliceux, aux grès parisiens, aux silex de la craie et même aux débris organiques de cette formation, aux calcaires jurassiques, et enfin aux granites et aux siénites du Morvan, qui de proche en proche font remonter ces détritus jusqu'aux vallées qui découpent les dépôts de la Bresse, et par lesquelles ils sont évidemment arrivés Tout le Dauphiné, toute la vallée du Rhône depuis Lyon jusqu'à la mer, nous présentent des débris qui n'ont pu être

charriés par le fleuve actuel, qui entrent dans toutes les vallées latérales, se lient à toutes les terrasses qu'on observe sur les dépôts précédents, et nous offrent enfin, dans le haut, les témoins d'une vaste nappe qui a recouvert les dernières pentes des Alpes. Ces dépôts se prolongent sans interruption jusqu'aux plaines de la Camargue et de la Crau, immense remblai de cailloux roulés de toute espèce, dont on suit la route directe, dans la vallée de la Durance, jusqu'au centre des Alpes qui les a fournis. Les mêmes terrains se retrouvent en Piémont, en Lombardie, dans les plaines de la Bavière, sur les bords du Rhin, et enfin dans la Suisse, et ils entourent ainsi tout le groupe alpin. D'ailleurs toute l'Europe est couverte de dépôts analogues qui se rattachent à différents systèmes de montagnes. Ce sont eux qui forment le sol de ces vastes plaines qui, à travers la Westphalie, la Prusse, la Pologne, la Russie, s'étendent jusqu'au pied des monts Ourals, etc.

§ 206. *Débris animaux de ces alluvions.* — C'est ici qu'on trouve les nombreux et derniers débris des éléphants, des rhinocéros, de tous les animaux qui ont vécu avec eux à la surface de l'Europe, et dont les plus rapprochés des espèces actuelles en différaient au moins par une plus haute taille Il faut y rapporter probablement aussi ce massif *megatherium*, fig. 343, qui n'avait

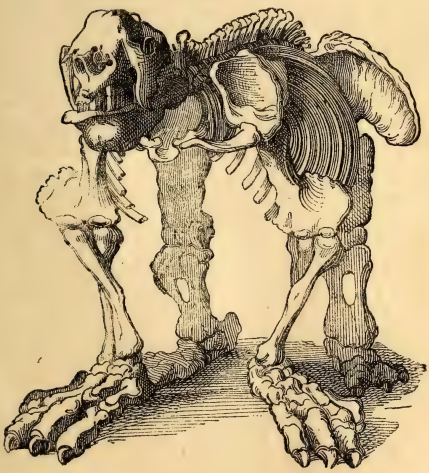


Fig. 343. *Squelette du megatherium, ou animal du Paraguay.*

pas moins de 4 mètres de long sur 2 de hauteur, et dont le squelette ne présente d'analogie qu'avec celui des animaux du genre Bradype de l'ordre des édentés : c'était un animal nécessairement lent dans ses mouvements, vivant sans doute de racines, que ses dents étaient merveilleusement disposées à broyer, et dont le corps était protégé par une cuirasse osseuse, comme les tatous, contre les attaques des carnivores, qu'il ne pouvait éviter autrement. C'est encore à ces dépôts que se rapporte cet immense ossuaire de l'océan Glacial du Nord, sur les côtes de Sibérie et dans les îles qui en dépendent ; là un nombre immense d'animaux, conservant encore leur chair depuis des milliers d'années, sont enfouis dans des sables consolidés par les glaces perpétuelles ; on y a trouvé, avec des cerfs et des chevaux, des éléphants et des rhinocéros couverts de poils, ce qui semble indiquer que les espèces qui vivaient alors dans nos climats étaient destinées, par leurs fourrures, à supporter des températures plus basses que celles à peau nue, qui habitent aujourd'hui l'Asie méridionale et l'Afrique. Les défenses de ces éléphants de l'ancien monde sont recherchées pour le commerce, et y entrent en concurrence avec celles des éléphants modernes.

Ces dépôts renferment aussi des débris de mollusques, les uns fluviatiles et terrestres, comme dans les *Loes* des bords du Rhin ; les autres, marins, comme sur plusieurs points des côtes de l'Océan et de la Méditerranée, où cependant ils se lient souvent avec des dépôts plus modernes. Peut-être doit-on y réunir les dépôts d'Uddewalla, des collines anciennes du Chili, etc., § 106, dont on ne peut guère fixer l'âge, mais qui indiquent une liaison avec l'époque actuelle, en ce qu'on n'y trouve que des débris identiques avec ceux qui vivent aujourd'hui dans nos mers.

C'est peut-être aussi à ces alluvions que se rapportent les amas immenses de débris roulés qui renferment l'or, le platine et le diamant au Brésil, en Afrique, dans l'Inde, dans les monts Ourals, aussi bien que les gîtes stannifères arénacés du Cornouailles et du Mexique.

§ 207. *Rochers polis, striés, sillonnés.* — Tout conduit à penser que c'est à l'époque des alluvions anciennes que se rapportent l'usure et le polissage de certains rochers, aussi bien que les stries, les ornières que nous observons aujourd'hui dans un assez grand nombre de lieux, et qui annoncent avec évidence les frottements des corps durs, en même temps qu'elles montrent la direction du mouvement qui leur était imprimé. Depuis que Saussure a fait remarquer les sillons qui se trouvent sur les pentes abruptes du mont Salève, et les a considérés comme les *ornières du char* qui

avait transporté les cailloux roulés et les blocs des environs de Genève, on en a observé partout de semblables. Les rochers moutonnés, polis, striés, § 76, 147, se trouvent souvent dans les Alpes en connexion avec les glaciers actuels ; mais il s'en trouve aussi en beaucoup de lieux du Jura, surtout dans les parties qui avoisinent la Suisse, qui en sont par conséquent fort éloignés. Les sillons plus ou moins profonds, plus ou moins conservés, suivant la nature des roches, et presque toujours accompagnés d'usure, de poli, de stries, ont été particulièrement observés dans le Westmoreland et le Cumberland en Angleterre, et dans les différentes parties de la Suède, de la Laponie, de la Finlande ; on les a vus aussi dans les parties septentrionales de l'Amérique et dans un assez grand nombre d'autres localités. Dans le nord, les observations de M. Durocher, professeur à la Faculté des sciences de Rennes, résumant, coordonnant, modifiant quelquefois celles qui avaient été jusque là recueillies, nous montrent qu'au milieu de quelques divergences produites par la présence des terrains que les eaux ont été obligées de contourner, la direction générale de ces sillons se trouve du nord-nord-ouest au sud-sud-est. Elles nous font voir aussi que les pentes des terrains de la Laponie sont sillonnées dans les parties qui regardent le nord-ouest, et ne le sont pas, au contraire, sur celles qui se présentent au sud-est, où les rochers offrent toutes les irrégularités ordinaires des montagnes. De là il résulte que les matières qui, par leur transport, ont produit ces sillons, avaient leur point de départ vers le nord, en dehors de la Scandinavie, et vers les régions polaires. Ce qui est remarquable, c'est que les traces d'érosion qu'on observe au Canada, sur une grande partie du sol des États-Unis, ont aussi leur direction du nord vers le sud, en sorte qu'il y a là un immense phénomène produit avant l'apparition du genre humain, § 205, 236 et 252 ; phénomène qui s'est manifesté, sauf les irrégularités locales, jusque dans les Iles-Britanniques, donnant aux monticules granitiques de la Finlande une forme allongée dans la direction générale que nous venons d'indiquer, et façonnant partout les montagnes suivant les directions locales que les circonstances pouvaient lui imprimer. Quelle est l'origine de ce phénomène prodigieux? c'est ce qu'il est impossible d'établir aujourd'hui. Quels sont les matériaux transportés qui ont agi si fortement sur les montagnes de la Scandinavie et de la Finlande, les ont démantelées, sillonnées, ont produit les immenses débris dont nous allons parler tout à-l'heure? quel était le véhicule? Ce sont encore autant de points sur lesquels nous ne pouvons former que des conjectures. L'étendue du phénomène nous conduit à

imaginer d'immenses courants partant des régions polaires, et transportant d'énormes glaçons avec une vitesse prodigieuse qui leur permettait d'entamer les rochers les plus durs; mais ce n'est là qu'une hypothèse que le temps détruira peut-être pour la remplacer par une autre.

§ 208. *Terrain erratique.* — Une circonstance particulière des alluvions anciennes nous est présentée par certains dépôts qu'on est aujourd'hui convenu de nommer *terrain erratique.* Bien que liés intimement, d'une manière générale, avec les alluvions survenues après le terrain subapennin, comme on le voit, autour des Alpes, par les amas de blocs qui se trouvent en terrasses dans le haut des vallées où commencent les alluvions de la Durance et des affluents du Rhône, les dépôts dont nous venons de parler offrent cependant en certains lieux quelque chose d'anormal qui semble réclamer une explication particulière. On se demande, par exemple, comment sont venus ces nombreux débris, tantôt éparpillés, tantôt réunis, qui couvrent en différents points les avant-postes des Alpes, et le Jura même, séparé du groupe alpin par la large vallée de la Suisse. On cherche comment sont arrivés à 600 ou 800 mètres de hauteur au-dessus de cette vallée, tant de blocs épars dont quelques uns atteignent des dimensions colossales (de plusieurs centaines de mètres cubes), qui se sont quelquefois brisés en plusieurs morceaux restés sur place, et souvent dans les positions d'équilibre les plus bizarres, les plus incroyables. On n'est pas moins étonné quand, parcourant les plaines de la Westphalie, de la Prusse, de la Pologne, de la Lithuanie, etc., on trouve jusqu'à la Baltique un nombre immense de blocs de toute espèce, étendus ou groupés par files à la surface du terrain, et quand, passant ensuite en Suède, en Finlande, en Laponie, on les retrouve encore sur la croupe de ces montagnes. C'est cet éparpillement qui a fait donner à tous ces blocs l'épithète d'*erratiques*, qu'on a appliquée plus tard à tous les dépôts qui offrent les mêmes anomalies, et que nous retrouvons dans les Pyrénées, dans le Jura, dans les Vosges et dans les Ardennes, dans le bassin de Paris même, en Angleterre, aux États-Unis, dans les Indes, etc.

§ 209. *Dépôts erratiques de la Suisse.* — Relativement à ces dépôts, qui s'étendent même sur le revers opposé du Jura, on a remarqué que c'est en face des grandes vallées qui descendent des Alpes qu'on les trouve en plus grande abondance. On en a suivi la continuité sur les croupes ou sur les flancs des montagnes qui bordent ces vallées, et par la comparaison des roches on a reconnu avec évidence les points d'où ces débris proviennent et les routes

qu'ils ont pu suivre. Mais pour parvenir sur les flancs du Jura, ils ont dû traverser la vallée de la Suisse ; car il est certain aujourd'hui qu'elle existait avant le transport, § 231 , 248 , 250 à 252. Or c'est là le point énigmatique livré à la controverse, et sur lequel chacun a proposé ses idées. A l'idée d'un plan incliné et continu de dépôts déblayés plus tard, qui est réprouvé par les faits matériels, ont succédé les suppositions de glaçons flottants sur une vaste nappe d'eau et charriant tous les débris que nous voyons aujourd'hui, ou bien de torrents boueux d'une prodigieuse vitesse, de nappe continue de glaces, sur laquelle pouvaient rouler les blocs, etc. ; puis est venue l'idée d'énormes glaciers couvrant toute la Suisse et déposant ces débris comme ils déposent aujourd'hui les moraines, § 75.

L'idée, qu'on doit à M. de Buch, de torrents boueux, § 72 , capables d'entraîner les débris sur les hauteurs où ils se trouvent aujourd'hui, peut être appuyée sur les différences de niveau qui existent entre les différents points où se présentent les blocs erratiques, depuis les parties supérieures des vallées qu'ils ont suivies jusque dans les lieux où ils ont cessé de s'accumuler. On en déduit, d'un côté, la profondeur du courant, qu'on trouve quelquefois alors de 800 à 1 000 mètres relativement au fond de la vallée; de l'autre, la pente moyenne sur laquelle ils s'écoulaient. Or ces pentes se trouvent être beaucoup plus faibles que celles des glaciers, qui ne sont jamais au-dessous de 3 degrés, § 75, ce qui exclut l'idée des moraines ; et beaucoup au-dessus de celles de nos rivières les plus rapides, § 73, puisqu'elles sont de 12 à 40 minutes. Il est clair qu'avec de pareilles pentes, et sous des profondeurs comme celles que nous venons de citer, la boue la plus visqueuse, une fois mise en mouvement, pourrait acquérir des vitesses énormes, et serait capable des effets les plus prodigieux qu'on puisse imaginer ; les blocs les plus volumineux pourraient rester à la surface, aussi bien que les plus faibles, être roulés à toutes les distances et déposés en lisières sur les bords des torrents à mesure que les frottements du sol diminuent sa vitesse, § 72, 74.

L'idée d'énormes glaciers qui auraient transporté les blocs, les auraient accumulés sous forme de moraines, a été développée d'une manière admirable par M. de Charpentier (1), qui, voulant dans le principe recueillir des faits opposés à cette théorie, s'est trouvé entraîné à en soutenir, au contraire, la vraisemblance. Il est impossible de voir des faits mieux coordonnés, plus clairement exposés ;

(1) Essai sur les glaciers. — Lausanne, 1841.

et l'on est conduit à en admettre les conséquences pour les Alpes, malgré l'énormité d'un glacier de 60 lieues de longueur et de plus de 200 lieues carrées de surface, s'élargissant de part et d'autre à son extrémité. Cependant le doute revient bientôt quand on compare, comme nous venons de le faire, l'allure des glaciers et celle des blocs erratiques sous le rapport des pentes, et quand on cherche à appliquer la théorie aux phénomènes erratiques du nord, qui ont sans doute quelque analogie avec ceux de la Suisse.

§ 210. *Dépôts erratiques du nord.* — Vers les limites sud, est, et nord-est, des grandes plaines qui occupent le nord de l'Europe, les premiers blocs erratiques qu'on rencontre appartiennent aux roches des terrains montagneux voisins, tels que le Harz, la Saxe, la Silésie, la Pologne, et enfin les monts Ourals; mais de quelque côté qu'on soit entré dans ces plaines, on trouve bientôt d'autres blocs, également très nombreux, dont les roches analogues n'existent plus dans les montagnes environnantes; on les suit sans interruption, soit vers la Suède, si l'on passe par la Westphalie, le Danemark ou les parties occidentales de la Prusse; soit vers la Finlande, si l'on prend toute autre direction. C'est cette dernière partie de l'Europe qui en a fourni le plus grand nombre, soit dans les plaines de la Russie et de la Pologne, soit dans la partie orientale de la Prusse, où ils viennent se mêler obliquement avec les débris de la Suède. Il y a des blocs qui ont dû faire 250 lieues pour arriver au point où ils se trouvent aujourd'hui.

Parvenu sur les lieux qui ont été les points de départ, ce n'est plus par les blocs erratiques proprement dits que l'attention se trouve particulièrement attirée, car ils sont à la fois moins nombreux et moins gros; mais on observe alors d'autres phénomènes: ce sont de longues traînées de débris désignées en Suède sous le nom d'*ösar*, dirigées parallèlement aux sillons que nous avons précédemment indiqués sur les rochers, § 147, 207, et offrant des accumulations de blocs, de fragments, de sables, placés ordinairement à la suite de quelque butte ou de quelque colline de matières en place, comme les amas qui se forment dans nos rivières derrière les obstacles quelconques qui font tête au courant, § 84. Ces dispositions générales ont fait concevoir que les sillons et les *oses* sont dus à la même cause, à de grands courants venus du nord, qui, au moyen des matières qu'ils charriaient, ont démantelé les montagnes sur lesquelles ils ont passé, et qui ont déposé derrière les obstacles qu'ils rencontraient, sans les renverser, les traînées de débris que nous voyons maintenant.

L'observation attentive des faits montre clairement que ces traî-

nées n'ont aucun rapport avec les blocs erratiques des plaines. Depuis longtemps on avait remarqué que ce n'était pas seulement à la surface du sol qu'on trouvait ces débris, mais qu'il en existait aussi dans toute l'épaisseur de la masse de sables, où l'on va même les chercher pour les exploiter comme pierre à bâtir. M. Durocher, en confirmant ce fait, y en ajoute un autre d'une grande importance : c'est que la masse de sables et de blocs repose sur des rochers qui sont eux-mêmes striés et sillonnés ; d'où il suit que leur dépôt est postérieur au grand phénomène qui a produit les sillons et les *oses*. De plus, ces sables ont été déposés dans une mer tranquille, car leur stratification est régulièrement horizontale, et ils renferment des coquilles bien conservées, qui sont identiques avec celles de nos mers actuelles. Il en résulte que ce ne sont pas des courants violents qui ont transporté tous ces débris, et de là une nouvelle énigme qui ne peut encore avoir de solution définitive. M. Durocher suppose qu'un phénomène érosif, dont la cause est inconnue, a démantelé d'abord les montagnes du nord et en a réduit les rochers en blocs, qui se seront accumulés à leur pied sur les côtes de l'époque, et qu'ensuite les eaux ont charrié tranquillement dans la mer tous les menus débris. Mais alors il est arrivé que, pendant des hivers intenses, les glaces ont empâté les blocs accumulés sur le rivage, et qu'à chaque débâcle des glaçons flottants les ont emportés dans toutes les directions, les déposant çà et là dans les mers, comme nous avons vu qu'il arrive aujourd'hui sur une échelle plus petite, § 75. Le soulèvement de cette mer, dont la Baltique est le reste, et dont le fond est encore parsemé de blocs, les a amenés depuis au jour.

On voit par ces observations une série de faits extrêmement remarquables, mais dont nous n'avons encore aucune explication, parce qu'on ne sait les comparer ni entre eux, ni avec aucun autre qu'on puisse en regarder comme le principe. Il nous manque évidemment des données, que le temps pourra nous procurer, quand les circonstances nous auront fait découvrir les éléments par lesquels nous devons commencer leur étude.

§ 211. **Alluvions modernes.** — Ici se trouve rangé et ce qui se fait de nos jours et ce qui remonte aux temps historiques. Nos rivières déposent journellement des sables et des limons, soit dans leur trajet ordinaire, soit dans les inondations; elles agrandissent, elles modifient les deltas, charrient dans nos mers des animaux et des plantes de toute espèce, et tantôt dégradent, tantôt remplissent les vallées qu'elles parcourent. Les mers amoncellent des sables et des cailloux sur nos côtes, en même temps qu'elles for-

ment sur leurs fonds des dépôts qui, par de nouveaux soulèvements, doivent augmenter un jour nos continents.

Nos lacs se remplissent de tous les débris que les eaux y amènent ; des terrains d'eau douce s'y agrandissent, et fourniront plus tard les analogues modernes des dépôts partiels que nous avons vus dans le Weald, § 187, et dans la molasse, § 197. Nos marais s'encombrent par la tourbe qui se forme journellement, et dont le dépôt a commencé sans doute en même temps que l'ordre de choses actuel. Ils se remplissent de fer limoneux, comme dans les marais de la Silésie, où les carapaces d'infusoires renferment de l'hydrate de peroxyde de fer, § 102. Partout il se fait des dépôts de tuf calcaire, continuation de ceux qui ont probablement commencé dès les anciens dépôts alluviens.

C'est à l'époque moderne qu'il faut rapporter ces dépôts coquilliers marins qui renferment des débris de l'industrie humaine, comme nous en avons cité sur les côtes de l'Italie et de la Sicile, sur celles de la Suède et de l'Angleterre, aux Antilles, où se trouvent des débris humains, et dans les îles du Pérou, § 86, 106 ; il faut même y joindre ces rescifs de corail en voie de formation que nous avons indiqués dans les mers du Sud, § 87, et les plages soulevées de nos jours au Chili, § 20, qui en font évidemment partie. Quant aux dépôts analogues qu'on trouve plus avant dans les terres, et ceux qui ont été soulevés du sein des mers à Timor, à la Nouvelle-Hollande, en Suède, etc., il est difficile aujourd'hui de juger de leur époque de formation ; et quoique les débris qu'ils renferment appartiennent entièrement à l'époque actuelle, peut-être, par analogie avec ce que nous présentent les sables du Danemark, faut-il les rapporter aux alluvions anciennes. Au reste, il est probable que dans les diverses alluvions qui ont suivi celles qu'on rapporte aux dépôts subapennins, on formera par la suite plus de divisions que nous n'en supposons aujourd'hui.

TERRAINS DE CRISTALLISATION INTERCALÉS AVEC LES DIFFÉRENTS DÉPÔTS DE SÉDIMENT.

§ 212. **Nature et distinction des roches cristallines.** — Si le carbonate de chaux, compacte ou terreux, et plus ou moins mélangé de matières diverses, intercalé avec des dépôts arénacés très variables de nature et d'épaisseur, constitue en général les terrains de sédiment, les silicates de diverses sortes forment aussi généralement ce que nous avons appelé les terrains de cristallisation,

dont les uns sont de fusion et les autres de pur métamorphisme, § 126 à 143. Ces matières sont principalement les diverses substances qu'on a rangées autrefois sous la dénomination de *feldspath*, telles que *labradorite*, *orthose*, *albite*, ou celles qu'on a nommées *micas*, qui paraissent offrir tant d'espèces diverses; les *amphiboles*, et particulièrement les *actinotes* et les variétés nommées *hornblende ;* les *pyroxènes* à base de protoxyde de fer, et leur modification, qu'on a désignée sous le nom d'*augite ;* enfin les silicates magnésiens qu'on a nommés *serpentines* et *diallages* (voyez la *Minéralogie*). Toutes ces matières sont mélangées entre elles et avec le quarz de différentes manières.

Les roches (matières des rochers) que constituent la silice et les divers silicates sont tantôt *simples*, tantôt *composées ;* c'est-à-dire qu'elles sont formées d'une seule et même matière, ou bien qu'elles résultent de la réunion constante de plusieurs matières différentes. Les *roches simples* sont d'abord le *quarz*, vitreux ou lithoïde, compacte ou grenu, fréquemment alors plus ou moins schisteux, et constituant les *quarzites* et les *lydiennes* (*quarz lydien*). Viennent ensuite les *feldspaths* divers à l'état compacte, qui forment les *petrosilex*, ou *eurites ;* puis les *obsidiennes* et les *rétinites*, qui s'y rattachent minéralogiquement, ainsi que les ponces qui en dépendent. Les amphiboles forment les roches qu'on nomme *amphibolites*, comme le pyroxène en masse forme celle qu'on nomme *lherzolite*. Les diverses sortes de *serpentines* sont aussi des roches simples de fusion qui forment çà et là des mamelons plus ou moins considérables. On nomme serpentines diallagiques celles qui présentent dans la cassure les lamelles des matières qu'on nomme diallage.

Les *roches composées*, dont on peut faire minéralogiquement une infinité d'espèces, suivant la quantité, la nature et la variété des substances mélangées, se réduisent cependant à un assez petit nombre quand on veut les envisager en grand, comme les masses qu'elles forment à la surface du globe. Ce sont en général les roches suivantes.

a. **Granite.** — Roche massive formée de trois éléments cristallins, orthose, quarz et mica, réunis ordinairement en masses grossièrement granuleuses et agrégés avec plus ou moins de force. Le mica, qui offre tant de caractères différents, peut servir à établir un grand nombre de variétés de cette roche, et entre autres les *granites talqueux*, qui appartiennent particulièrement aux Alpes, et qui, par une idée qu'on a reconnue fausse, § 235, avaient été nommés *protogynes*. La manière dont ces éléments sont groupés peut aussi

donner lieu à quelques distinctions, et de là les *pegmatites*, où les trois principes se retrouvent en grand, formant chacun de gros amas distincts accolés les uns aux autres. En petit, la roche présente souvent un orthose lamellaire, rempli de cristaux de quarz; le *granite graphique* en est une variété où les cristaux de quarz enclavés dans l'orthose donnent, dans certaines directions, l'apparence des caractères hébraïques.

b. **Siénite.** — Roche massive assez analogue au granite, auquel elle passe par toutes les nuances, où le mica est remplacé en tout ou en partie par l'amphibole. Le quarz y disparaît assez fréquemment sur une étendue plus ou moins considérable, et quelquefois aussi l'orthose. Dans ce dernier cas, la roche passe à l'amphibolite. Quelquefois les éléments se confondent, la roche devient compacte et ressemble à la diorite compacte.

Il existe aussi des roches analogues où l'orthose est remplacée par le labrador, et l'amphibole par l'hypersthène; ce sont celles qu'on a nommées *hypérites*.

Les granites et les siénites, outre la réunion principale qui les constitue, renferment souvent des cristaux disséminés de feldspath plus ou moins volumineux, qui appartiennent assez fréquemment à l'albite. La roche devient alors *porphyroïde*.

c. **Gneiss.** — Le granite et la siénite, au lieu de présenter la structure massive, cristalline et granulaire, qui leur est propre, passent fréquemment à des matières schisteuses sans perdre aucun de leurs éléments Ce sont ces matières qu'on nomme *gneiss*, et qui participent à toutes les variations de leurs congénères; mais il est nécessaire de remarquer que si ces roches peuvent être quelquefois des variétés des granites ou des siénites auxquels elles sont associées, le plus souvent on reconnaît qu'elles se lient aux roches arénacées, aux argiles schisteuses des terrains sédimentaires, dont elles sont des métamorphoses : ce sont alors les *gneiss métamorphiques*, qui se trouvent toujours intercalés entre les granites et les roches sédimentaires.

d. **Leptynite,** *ou* **weisstein.** — Il arrive souvent que, dans quelques points, les granites, les siénites, les gneiss, perdent leur quarz, leur mica ou leur amphibole; la roche devient alors presque entièrement feldspathique, finement grenue, et elle se trouve désignée sous le nom de *leptynite*. Elle est tantôt compacte, tantôt schisteuse, quelquefois granitoïde et renfermant alors des lamelles de mica disséminées, rarement du quarz.

e. **Hyalomicte granitoïde,** *ou* **greisen.** — C'est une sorte de granite peu répandu dans la nature, où le feldspath est très rare; elle

a cela d'important qu'elle accompagne fréquemment les minerais d'étain et peut leur servir d'indice. L'*hyalomicte schistoïde*, qui ne renferme que du quarz hyalin et du mica, paraît se rattacher quelquefois au gneiss et au schiste micacé, qui font partie des masses granitiques ; mais le plus souvent aussi elle se lie aux roches métamorphiques de ces deux genres.

f. **Euphotide, *ou* gabro.** — Roche composée d'albite compacte ou de labradorite et d'une des matières qu'on nomme diallage. Ce mélange présente tantôt une apparence granitoïde, tantôt une structure fissile et plus ou moins feuilletée.

g. **Diorite.** *Grünstein* des Allemands. — Roche assez analogue à la siénite lorsqu'elle est cristalline, mais composée d'albite, quelquefois d'oligoclase, et d'amphibole, renfermant rarement du quarz. Elle passe fréquemment à l'amphibolite en perdant la matière feldspathique ; mais il arrive aussi que les deux éléments se mêlent intimement et que toute la masse devient compacte, sans qu'on y puisse distinguer à l'œil les parties constituantes : on la désigne assez souvent alors sous les noms de *cornéenne* ou d'*aphanite*, et elle devient porphyroïde par la dissémination de petits cristaux feldspathiques.

h. **Dolérite.** — C'est un mélange de labrador lamellaire avec du pyroxène augite. Cette roche ressemble quelquefois à certaines variétés de siénites et de diorites, et d'autant plus qu'elle renferme assez souvent aussi de l'amphibole.

i. **Basalte.** — C'est une dolérite compacte, où le labrador et le pyroxène sont intimement mêlés et indiscernables à l'œil. Il s'y trouve souvent disséminés des cristaux de pyroxène, quelquefois de mica noir, et souvent du péridot. Cette roche présente fréquemment les divisions en colonnes prismatiques ; elle passe souvent aux matières scoriacées, à des tufs basaltiques, et aussi à une matière argileuse assez dense, qu'on nomme *wacke*, qui constitue parfois à elle seule des dépôts considérables, tantôt isolés, tantôt en relation avec les basaltes ou les amygdaloïdes qui en dérivent.

k. **Trapp.** — Roche douteuse, où les éléments composants sont indiscernables : on la voit passer tantôt à la diorite compacte, tantôt aux basaltes. Ces matières se divisent très fréquemment en prismes et présentent toutes les allures des basaltes, si ce n'est qu'on ne les voit pas passer aux matières scoraciées. On n'y trouve pas non plus de péridot disséminé. Du reste, on les voit passer à des roches porphyriques et amygdaloïdes. Souvent elles forment des masses de roches disposées en gradins, et c'est ce qui leur a valu le nom de trappe en Suède.

l. **Trachyte.** — Roche massive, tantôt albitique, tantôt ryakolitique, souvent à pores extrêmement fins qui déterminent l'âpreté particulière dont on a tiré sa dénomination. Ces roches passent d'un côté à des matières scoriacées ou ponceuses, et de l'autre à des roches compactes et porphyriques, et à des porphyres quarzifères très caverneux. Elles sont tantôt simples, tantôt mélangées de mica ou d'amphibole. On nomme *domites* (du Puy-de-Dôme) les variétés terreuses qui sont quelquefois à base de ryacolite, et l'on a donné le nom d'*andesite* aux trachytes qui composent les Andes, dont la nature paraît être entièrement albitique, comme celle des trachytes de Hongrie.

m. **Phonolite,** *ou* **klingstein.** — Roche tabulaire ou schisteuse, ordinairement sonore, ce qui lui a valu ses noms, en partie attaquable par les acides, tantôt d'apparence homogène, tantôt peu distinctement porphyrique ; elle se lie à la fois aux terrains trachytiques et aux terrains basaltiques.

n. **Roches porphyriques diverses.** — On nomme en général *porphyre* toute espèce de roche composée qui, dans une pâte compacte, le plus ordinairement feldspathique, renferme des cristaux distincts d'une autre substance qui est aussi le plus souvent une de celles qu'on a nommées feldspaths. Tantôt la pâte est un feldspath compacte à peu près pur, et il en résulte ce qu'on nomme les *porphyres euritiques ;* ailleurs elle renferme une assez grande quantité de matière ferrugineuse rouge ; souvent elle présente une *diorite* dans laquelle sont disséminés des cristaux plus clairs, quelquefois tout-à-fait blancs, d'albite plus ou moins distincts : il en résulte alors les porphyres verts, *grünstein-porphyr*, qu'on nomme aussi *ophites*. Dans d'autres cas, la base est labradorique, et colorée en noir par une matière qu'on regarde comme du pyroxène ; il en résulte des porphyres noirs, qu'on nomme aussi *mélaphyres*. Enfin la pâte se charge souvent de silice que l'on voit s'isoler çà et là, et présenter des parties plus ou moins étendues de silex opaque ; elle se remplit quelquefois de cristaux de quarz, et renferme en même temps des cristaux d'orthose ou d'albite. Ces roches, ordinairement rougeâtres, dont la pâte devient souvent plus ou moins terreuse, sont les *porphyres quarzifères* et les *porphyres argileux*, qu'on nomme aussi *argylophyres*.

o. **Variolites.** — Lorsque le feldspath, au lieu de se présenter en cristaux dans une pâte feldspathique compacte, n'y forme plus que des nœuds cristallins, qui sont souvent striés du centre à la circonférence, la roche prend le nom de *variolite*, ou de feldspath glanduleux. Les variolites de la Durance sont à base de diorite.

p. **Amygdaloïdes.** — Les dio rites, les basaltes, les wackes, les trapps et les mélaphyres renferment souvent des noyaux plus ou moins irréguliers de calcaire, d'aragonite, de zéolite, qu'on a quelquefois comparés à des amandes renfermées dans une pâte : la roche prend alors l'épithète ou même le nom d'*amygdaloïde*. On ne sait pas toujours à quelle espèce de roche appartient la pâte des amygdaloïdes ; mais on voit toutes celles dont nous avons parlé passer à cette modification, et l'on remarque alors que les diorites passent à des amygdaloïdes dont les noyaux sont calcaires, tandis que les basaltes, les mélaphyres, etc., en donnent d'autres où les noyaux sont formés d'aragonite et de zéolite.

q. **Roches feuilletées *ou* schisteuses.** — Ces roches sont composées de lames de mica, tantôt élastique, tantôt seulement flexible, et alors doux au toucher, qui sont le plus souvent entremêlées avec des lits de quarz, et dont l'ensemble forme des masses susceptibles de se diviser en feuillets plus ou moins minces. Ce sont les *schistes micacés*, ou *micaschistes*, et les *schistes talqueux*. On donne souvent le nom de *schistes argileux* à celles de ces roches qui ne renferment pas de quarz, ou du moins qui n'en renferment qu'en très petite quantité.

Certains micaschistes, surtout ceux où le quarz est dominant, ne sont que des modifications des gneiss associées aux roches granitoïdes ; mais la plupart se lient aux différents dépôts de sédiment par les gneiss superposés aux granites, et ne sont que le résultat du métamorphisme des dépôts arénacés et argileux par les agents souterrains.

r. **Roches calcairescristallines.** — Les calcaires sédimentaires sont presque toujours modifiés profondément dans le voisinage des roches de fusion. Ils passent alors à diverses variétés de calcaire saccharoïde et se mélangent de différentes substances minérales en formant des roches composées, auxquelles on donne quelquefois différents noms ; tels que : *calciphyre*, lorsqu'elles renferment des cristaux disséminés de certaines substances ; *cipolin*, lorsqu'elles renferment du mica ou du talc en lamelles uniformément disséminées ; *ophicalce*, lorsque ces matières sont disposées par veines ou par feuillets entrelacés ; *calchiste*, lorsqu'elles offrent une masse schisteuse formée de feuillets alternatifs de schiste micacé ou talqueux et de calcaire, etc.

s. **Laves.** — Rappelons que les laves ne sont pas des roches particulières ; ce ne sont que des manières d'être à la surface du globe qui appartiennent à diverses roches, trachytes, obsidiennes, basaltes, etc. On applique particulièrement ce nom aux dépôts qui

ont coulé en bandes longues et étroites sur la pente des montagnes, ou se sont étendus en nappes dans la plaine.

§ 213. **Apparition des roches de fusion.** — D'après les données que nous avons rassemblées, § 125 à 142, il est évident que les roches de fusion sont sorties à diverses époques de l'intérieur de la terre à travers les dépôts de sédiment qu'elles ont soulevés, entre les couches desquels elles ont été souvent injectées, et qu'elles ont quelquefois recouverts de leurs épanchements.

Roches granitoïdes. — Ces roches ont commencé à paraître dès les premiers dépôts de sédiment, et peut-être même y en a-t-il eu d'antérieurement épanchées à la surface du globe; mais elles se sont continuées à toutes les époques jusqu'après les terrains tertiaires, comme en Toscane et à l'île d'Elbe suivant M. de Collegno. Il s'en est épanché en abondance dans les Alpes par-dessus le terrain jurassique, que les siénites ont aussi traversé à l'île de Sky.

On trouve souvent le granite complétement isolé des roches sédimentaires et formant à lui seul des dépôts considérables couvrant de vastes contrées, comme le centre de la France, dans l'Auvergne et le Limousin. Il offre alors le plus souvent un assemblage de buttes arrondies, fréquemment recouvertes de leurs débris désagrégés et réduits à l'état sableux. Mais dans ce cas même on en reconnaît de divers âges; les uns se présentent en filons au milieu des autres, ou bien forment des chaînes étendues, qui, courant sous des directions différentes, annoncent diverses époques relatives d'apparition. Ainsi, sur le massif central de la France, la masse fondamentale est un granite gris à petits grains, formé de quarz gris et de mica noir, et fréquemment associé au gneiss; mais çà et là on remarque des filons plus ou moins puissants de granite de diverses variétés et de pegmatite, ou bien des chaînes de granite porphyroïde à gros cristaux disséminés de feldspath laminaire, souvent rosâtre, comme dans la Creuse et la Lozère. Le granite du Morvan, à feldspath rougeâtre et mica vert, est encore différent, et son apparition se rattache à des époques plus modernes. On trouve aussi le granite, ou la siénite, passant tous deux alors au gneiss, et de là au leptynite et au micaschiste, intercalés avec des dépôts de sédiment. C'est ainsi que, d'une part, on les trouve avec les strates cambriennes et siluriennes, comme dans le Cotentin et la Bretagne, dans les Vosges et dans les Pyrénées, dans plusieurs parties de l'Angleterre, de l'Allemagne, en Hongrie, en Norvége, etc.; et que d'autre part ces roches existent entre les divers dépôts qui se rapportent aux terrains jurassiques, comme dans les Alpes.

Porphyres, diorites, serpentines, trapps. — Dès le moment de la formation des terrains siluriens, il a commencé à se faire des roches métamorphiques et à paraître beaucoup de roches cristallines : ainsi des porphyres argileux et quarzifères s'y trouvent déjà liés avec des siénites et des granites, comme on le voit dans les Vosges, dans le Morvan, le Beaujolais, le Forez, etc. Mais ces matières se sont prolongées plus loin; car elles traversent le terrain houiller, arrivent dans le grès rouge, où elles forment des amas, et même des nappes sous formes de plateaux assez étendus, et se lient souvent avec des dépôts de rétinites ; c'est ce qu'on voit surtout en Allemagne, et ce qui se présente en France dans la partie nord des Vosges. Ces porphyres vont même jusque dans le grès bigarré, comme aux environs de Fréjus; mais jusqu'à présent on ne les a pas vus pénétrer dans des dépôts plus modernes.

Les diorites de diverses variétés, qui commencent dès les premières époques de formation, se continuent beaucoup plus haut ; c'est ce qu'on voit pour les ophites, ou porphyres dioritiques, dont certaines variétés se trouvent déjà abondamment dans le terrain silurien, et dont plusieurs autres vont se terminer au-dessus de la craie, comme cela a lieu dans les Pyrénées, en soulevant jusqu'aux sables des Landes.

Quant à la serpentine et à l'euphotide, elles passent des dépôts siluriens dans le terrain houiller, où la serpentine se lie au trapp, comme à Noyant dans l'Allier, et forme quelquefois des buttes particulières, comme à Firmy dans l'Aveyron ; elles parviennent dans le calcaire du Jura, s'intercalent dans ses diverses assises, comme dans la Spezia : ailleurs elles arrivent dans la craie, et s'épanchent jusque par-dessus les terrains tertiaires. C'est dans la partie supérieure de la série des terrains de sédiment que ces roches sont plus abondantes, comme on le voit sur le revers méridional des Alpes du Piémont, et dans les Apennins.

Les trapps se font déjà remarquer en Suède dans les terrains siluriens. Ailleurs ils sont très abondants au milieu des terrains houillers, et s'y trouvent intercalés en couches plus ou moins épaisses ; c'est ce qu'on voit en France dans la vallée de la Queune, autour des houillères de Fins, et plus loin dans les houillères de Brassac, sur les bords de l'Allier ; l'Angleterre nous en offre aussi de nombreux exemples. Dans d'autres lieux, ils traversent aussi les dépôts jurassiques, comme dans le Yorkshire, en plusieurs points de l'Écosse, à l'île de Mull, etc. Enfin, en Irlande, ils se font jour à travers le terrain crétacé, s'y intercalent en bancs épais, et forment de vastes plateaux à sa surface.

Les mélaphyres ont peut-être bien commencé aussi à se faire jour dès les terrains siluriens, où ils se lient souvent avec les porphyres argileux, dont il n'est pas toujours facile de les distinguer dans certaines variétés; mais on en trouve évidemment dans le grès rouge, comme dans les Vosges, et c'est à cette hauteur qu'ils apparaissent distinctement. Ils se continuent à travers les terrains jurassiques qu'ils ont soulevés ou modifiés dans le Tyrol, ainsi qu'entre le lac d'Orta et celui de Lugano; ils se prolongent même jusqu'à l'époque des terrains subapennins, dont ils ont redressé très probablement les couches dans la Provence.

Basaltes, trachytes, etc. — Le basalte paraît n'avoir commencé qu'à l'époque de la craie : d'un côté nous avons les trapps douteux de l'Irlande, que quelques géologues regardent comme des basaltes qui ont traversé ces sortes de dépôts et se sont épanchés en nappes au-dessus d'eux; de l'autre, des basaltes bien caractérisés, avec péridot, se présentent dans le Vicentin en relation avec le terrain à nummulites, et les tufs basaltiques qui s'y rattachent non seulement alternent avec des couches de cette espèce de calcaire, mais renferment eux-mêmes toutes les coquilles qui les caractérisent. De cette époque les basaltes ont continué à travers tous les dépôts de sédiments jusqu'à l'époque actuelle; non seulement ils ont formé sur la pente des montagnes, et dans les vallées, des coulées qui se rattachent à des cônes volcaniques à cratères, comme dans l'Eiffel et dans le Vivarais, mais encore ils coulent de nos jours en Islande.

Les trachytes ont peut-être commencé un peu plus tard que les basaltes; nous n'en connaissons pas dans la craie, et les plus anciens se rapportent tout au plus à des terrains analogues au calcaire grossier parisien, comme j'ai cru le voir en Hongrie, si, à cette époque encore peu avancée de la science, je n'ai pas fait quelque confusion des calcaires supérieurs. Dans le Cantal, ils sont plus jeunes, et postérieurs au terrain de molasse; ils sont, en effet, superposés aux dépôts d'eau douce de cette époque, qu'ils ont traversés et disloqués, et dont ils renferment des débris. Ils se continuent de nos jours, en formant des montagnes qui se soulèvent graduellement, ou de véritables coulées, §34, 54, aussi bien que les obsidiennes qui en font partie.

Les phonolites sont aussi à peu près de la même époque : cependant elles paraissent généralement s'être développées à part aussi bien que le basalte; c'est-à-dire que, suivant les localités, c'est tantôt l'une, tantôt l'autre de ces sortes de roches qui domine. C'est à l'apparition des phonolites qu'on est conduit à attribuer le sou-

lèvement des nappes trachytiques qui constituent les monts Dore et le Cantal.

Les amygdaloïdes, comme on peut le concevoir, sont de tous les âges. Il en est qui se rattachent aux diorites et aux roches trapéennes, d'autres aux porphyres quarzifères, aux mélaphyres, ou bien aux phonolites et aux basaltes; par conséquent, elles suivent les éjections de ces diverses matières.

Tous ces détails nous montrent qu'il y a eu continuité dans les éjections de roches ignées depuis les époques les plus reculées jusqu'à nos jours : seulement elles ont été plus générales, plus considérables aux époques les plus anciennes, et les roches semblent être arrivées à la surface du globe dans un état plus pâteux que nous ne le voyons depuis l'époque de la craie; nous en jugeons à ce que les granites, les siénites, divers porphyres ne se sont pas répandus en nappes, comme nous le voyons pour les trapps, les trachytes et les basaltes.

§ 214. **Influence de ces roches sur les dépôts de sédiment.** — Nous avons déjà montré ces influences, au moins sur les calcaires, depuis le contact du basalte avec ces terrains jusqu'à celui du granite, et c'est en quelque sorte une récapitulation que nous avons à faire ici.

C'est dans les Alpes que les faits se présentent sur la plus grande échelle et nous offrent le plus de variations. Les calcaires qu'on trouve dans les avant-postes de cette chaîne de montagnes appartiennent évidemment au lias, caractérisé par la présence des bélemnites et accompagné de ses matières arénacées ou argileuses. Or on peut suivre ces calcaires en divers points vers le centre de la chaîne, et on les voit alors se modifier d'un grand nombre de manières. Dans quelques points on rencontre encore les bélemnites et quelques autres coquilles caractéristiques; mais déjà ils ont changé d'état : les uns sont devenus plus compactes, les autres légèrement cristallins, et se sont colorés de différentes manières. Les argiles schisteuses qui séparaient leurs assises sont passées à l'état de schistes micacés ou bien de schistes talqueux, auxquels préludent souvent d'autres matières qui conservent encore leurs caractères arénacés, où l'on voit le talc s'introduire par feuillets dispersés de place en place; les grès quarzeux sont devenus des quarz compactes et granulaires, tantôt simples, tantôt renfermant du mica. D'autres roches arénacées ont pris un éclat plus vif, une consistance, une couleur particulière, et renferment des lamelles de mica, ou de talc, plus ou moins larges, qu'on ne voit pas partout ailleurs dans le terrain jurassique; il en résulte des roches qui prennent tous les

caractères des grauwackes que nous avons indiqués dans les dépôts siluriens, § 157 : tout cela alterne bientôt avec des micaschistes et des gneiss qui passent à de véritables granites en couches subordonnées, et plus ou moins semblables aux granites en masse, autour desquels tous les dépôts précédents sont relevés. Dans d'autres points de la chaîne on trouve des calcaires saccharoïdes, blancs ou colorés, simples ou remplis de paillettes de mica ou de toute autre substance, où toute trace de coquilles a disparu, comme cela a lieu également dans le voisinage des euphotides et des serpentines des Apennins, § 137; enfin dans quelques parties, les calcaires sont transformés en dolomies plus ou moins cristallines, comme nous en avons indiqué dans le voisinage des mélaphyres du Tyrol. Ajoutons que dans certaines vallées des Alpes on trouve, sur les pentes, divers lambeaux de gypse ou de karsténite qui sont dans des positions tout-à-fait anormales, ne se prolongent pas dans l'intérieur du terrain, et finissent toujours par des calcaires; c'est ce qu'on voit surtout dans les points où il s'est développé des roches amygdaloïdes ou des serpentines, comme il arrive aussi dans les Pyrénées partout où se présentent les ophites, § 136, 137.

Maintenant, de deux choses l'une : ou il faut dire que les terrains alpins, au milieu desquels se trouvent ici les roches cristallines, n'appartiennent pas à l'époque jurassique, ce qui aujourd'hui serait absurde; ou bien il faut admettre que pendant l'émission de ces roches il s'est fait de nombreuses modifications dans les dépôts de sédiment qu'elles ont traversés, et qu'aux dépens des matières argileuses et des roches arénacées, il s'est fait, par une action évidente, mais de nature inconnue, des schistes argileux ou talqueux, des micaschistes et des gneiss, en un mot ce qu'on nomme aujourd'hui des roches métamorphiques, § 142.

Ces transformations, si évidentes, que présentent les dépôts de sédiment dans les Alpes, tendent à nous faire concevoir une multitude de circonstances plus ou moins analogues dans un grand nombre d'autres localités qui nous offrent moins de détails. C'est ainsi que nous comprenons les calcaires, plus ou moins saccharoïdes, en couches, ou même en espèces de filons, dans les gneiss les plus intimement liés au granite, comme en Limousin, ou dans les porphyres, comme en Forez; enfin nous concevons toutes les variations du calcaire dans les terrains cambriens, siluriens et devoniens, si tourmentés en tous lieux par les injections de roches cristallines. Nous nous expliquons aussi ces passages continuels des granites ou des porphyres aux schistes micacés, aux grès divers dans lesquels ils ont percé, comme dans les grès du lias en Bourgogne, les grès

rouges dans les Vosges, les grès bigarrés dans le Var, les schistes argileux dans la Bretagne, l'Eiffel, les Vosges et le Forez.

Couches relevées et contournées. — Un autre genre d'influence des roches cristallines se manifeste dans les dérangements qu'elles ont fait éprouver aux couches qu'elles ont traversées, qu'elles ont bousculées de toutes les manières et placées sous des inclinaisons plus ou moins rapides, comme on le voit partout au milieu des montagnes. Leur influence n'est pas moins remarquable dans les contournements quelquefois si compliqués, si bizarres même, qui sont aussi le résultat de leur apparition, et qui sont dus aux compressions que leur passage a fait éprouver aux dépôts qu'elles ont modifiés et ramollis, ou à ceux qui se trouvaient eux-mêmes à un état pâteux, § 120, 152. Ces contournements se font surtout remarquer dans les roches schisteuses diverses des terrains anciens, comme dans la Bretagne, dans les Vosges, dans le groupe central de la France, dans les dépôts jurassiques métamorphisés des Alpes, dans les terrains houillers, où probablement les matières conservaient en elles-mêmes une certaine mollesse.

§ 215. **Anciennes divisions des couches du globe.** — Dès les premiers pas qu'on a faits dans l'étude des différents dépôts qui composent la croûte du globe, on a reconnu qu'un certain nombre d'entre eux renfermaient des dépouilles d'animaux aquatiques et présentaient des couches de débris roulés; tandis que les autres, tels que les granites, les porphyres, etc., n'en offraient aucun indice. On a vu en beaucoup de lieux les premiers reposer sur les seconds, et l'on a cru que c'était là la règle générale. Dès lors ces roches dépourvues de débris organiques et de cailloux roulés ont été regardées comme les premiers membres de la création, comme ayant été faites, par voie de cristallisation aqueuse, avant l'apparition de tous les êtres organisés qui ont ensuite peuplé les mers. On a donné dès lors à ces dépôts le nom de *terrains primitifs*, et, par opposition, les autres ont été nommés *terrains secondaires*. Plus tard, on s'aperçut qu'en certains lieux les roches qu'on avait remarquées dans les terrains primitifs ne cessaient pas brusquement d'exister, et qu'à la jonction des terrains secondaires elles alternaient avec des couches arénacées, avec des dépôts coquilliers. On en a conclu que là se trouvaient la fin d'un certain ordre de choses et le commencement d'un autre, et l'on a conçu l'idée d'une *époque* particulière de formation durant laquelle il s'est produit un *terrain intermédiaire*, ou *terrain de transition*. Plus tard, remarquant qu'à la fin de la série secondaire il se trouvait des dépôts où les débris organiques rappelaient beaucoup plus les êtres actuels que les débris

des dépôts précédents, et qu'il s'y trouvait surtout beaucoup de coquilles évidemment fluviatiles, on a adopté une quatrième division, qu'on a nommée *terrain tertiaire*. On a même imaginé une division de *terrains quaternaires*, d'un côté, pour les faluns de Touraine, supérieurs aux dépôts parisiens, de l'autre, pour des dépôts plus modernes encore dans lesquels on a trouvé des traces de l'industrie humaine, § 106. Ces divisions n'ont jamais eu rien de bien fixe; on ne savait trop où commençait le terrain de transition, ni où il finissait pour faire place au terrain secondaire. On a été un peu plus d'accord pour les terrains tertiaires, que l'on est convenu généralement de faire commencer après la craie. Mais il reste de nouvelles incertitudes pour les terrains suivants, qu'on ferait probablement commencer avec les alluvions anciennes, § 205.

On voit que nous sommes aujourd'hui fort loin des idées qui ont présidé à l'établissement de ces divisions. D'un côté, en effet, les dépôts cristallins qu'il nous est possible de voir à la surface du globe, loin d'être primitifs, d'avoir préexisté à la création organique, ont au contraire apparu après beaucoup de dépôts secondaires et même tertiaires des plus élevés. D'un autre côté, ce n'est plus seulement dans un point de la série que le primitif et le secondaire se trouvent mêlés; c'est réellement à tous les étages que le mélange a lieu, tantôt sur une grande échelle et avec de nombreuses modifications des roches soulevées, tantôt sur une échelle plus petite qui ne laisse apercevoir qu'une faible masse intercalée. Ce serait donc tout embrouiller que de conserver aujourd'hui une telle division : aussi avons-nous évité jusqu'ici d'en parler, et n'en parlerions-nous pas si, depuis longues années, de savants travaux, d'illustres professeurs n'avaient fait partout contracter une telle habitude de ces expressions, surtout celles de *primitifs* et de *secondaires*, qu'il n'est pas possible de les faire oublier subitement, et qu'il faut dès lors en connaître la valeur réelle.

Les véritables roches primitives, celles qui résultent de la première consolidation de la surface du globe incandescent, celles sur lesquelles la vie a commencé au sein des mers, nous sont réellement inconnues. Toutefois il est clair que ce sont des roches de cristallisation ignée; et comme parmi elles le granite est ce qu'il y a de plus abondant, comme cette roche se montre sur de grands espaces dès les premiers dépôts de sédiment, on a été conduit à penser qu'elle formait aussi la base principale de nos continents: mais il nous est impossible de distinguer aujourd'hui ceux de ces granites qui pourraient avoir été simplement soulevés, de ceux qui sont venus à travers s'intercaler par de larges fentes dans toutes

les formations. Quoique nous trouvions de vastes étendues de terrain occupées entièrement par des granites, qui sont même recouverts sur leur pourtour par des dépôts cambriens, nous ignorons complétement si ces roches sont réellement antérieures à ces formations, ou si elles y sont intercalées, et s'il n'y a pas même au-dessous d'elles quelque autre dépôt sédimentaire.

L'expression *terrain primitif* doit donc être rejetée comme indication d'âge relatif; mais rien n'empêche de l'employer comme synonyme de *terrain cristallin d'une certaine espèce*, ou, pour parler plus clairement, de *terrain granitique*, en comprenant sous ce nom toutes les roches d'apparence granitique et toutes celles qui s'y rattachent. On emploie très fréquemment aussi l'expression de *terrain de transition ;* mais on oublie encore l'idée qui l'a déterminée, et l'on comprend sous ce nom l'ensemble des terrains cambriens, siluriens et devoniens, avec toutes les roches cristallines qui se sont intercalées dans ces premiers sédiments. Par *terrains secondaires*, on entend toute la série des dépôts qui viennent ensuite, y compris le terrain crétacé supérieur. Enfin, sous l'expression de *terrain tertiaire*, on comprend les trois divisions qui terminent jusqu'à présent la série régulière, dans laquelle on fera quelque jour entrer celles que nous avons encore distinguées sous le nom d'*alluvions anciennes* et d'*alluvions modernes*.

COMPOSITION GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE.

§ 216. **Idées générales.** — Pour connaître à fond la géologie de la France, il n'y a rien de mieux à faire que d'étudier les résultats du travail immense de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, avec les descriptions et les cartes que ces savants ont publiées. Mais, sans entrer dans tant de détails, on peut cependant, à leur exemple, donner des idées très nettes et très importantes sur la physionomie et la constitution minérale de cette vaste contrée.

Le terrain qui se montre de la manière la plus continue sur le sol de la France, on pourrait même dire à la surface de l'Europe, est celui que nous avons décrit sous le nom de terrain jurassique, et dont nous avons déjà indiqué les principales ramifications, § 184. C'est la partie découverte de ce terrain qui se trouve figurée par les hachures verticales sur la carte que nous allons reproduire de nouveau pour plus de facilité.

La bande la plus considérable de ce terrain divise la France en deux portions, l'une au nord, l'autre au midi ; mais les appendices partagent chacune d'elles en deux autres, et il en résulte immédia-

tement quatre régions fort distinctes, fig. 344. Paris occupe le centre de l'une; la Bretagne, le Poitou et la Normandie en occupent une autre; le Limousin et l'Auvergne forment la troisième; et enfin, la Gascogne, jusqu'aux Pyrénées, constitue la quatrième. Ces quatre régions offrent diverses particularités que nous allons indiquer.

§ 217. **Nature de ces diverses régions.** — Celle de ces régions qui occupe le centre de la France comprend une partie de la Bourgogne et du Bourbonnais, la Marche, le Limousin, l'Auvergne, le Lyonnais (Beaujolais et Forez), le Velay, une partie du Vivarais et du Gévaudan, et le reste des Cévennes. Elle va ainsi des montagnes du Morvan, qui forme une presqu'île au nord, à celle qui termine la montagne Noire au sud, et qui est séparée du reste du massif par des lambeaux de terrain jurassique. Elle présente un terrain généralement élevé, composé en grande partie de granite, qui surgit au milieu des terrains secondaires dont elle est entourée de toutes parts. Sur le dos de ce vaste plateau, dont la hauteur sur une grande partie de son étendue se maintient de 500 à 800 mètres, s'élèvent diverses chaînes, composées d'un granite différent de celui qui en forme la base, comme dans le Gévaudan, ou même de porphyre, comme dans le Forez, le Beaujolais, le Morvan. Ailleurs s'élèvent des groupes de trachytes, comme les monts Dore, le Cantal, le Mezenc; des masses basaltiques ou même des cônes volcaniques parfaitement caractérisés, comme dans l'Auvergne, le Velay et le Vivarais.

En Bretagne, se présente un terrain analogue, où le granite, souvent joint à la siénite, forme des groupes au milieu des dépôts cambriens, siluriens et devoniens, qu'on peut regarder comme la base de la contrée. Il s'y trouve un grand nombre d'îlots de diorite, et le tout est recouvert à l'est par la bande de calcaire jurassique qui s'étend du sud au nord, où elle s'élargit de l'est à l'ouest jusque vers Cherbourg.

Sur la frontière du nord-est, en dehors des quatre régions indiquées, se trouvent encore deux groupes de terrains plus ou moins analogues, qui constituent les Vosges et les Ardennes. Le premier offre encore des granites, des siénites, des schistes anciens, et surtout une masse énorme de terrains pénéens. Le second est presque entièrement formé de roches schisteuses qui sont probablement assez anciennes. Enfin, dans le midi de la France, se présente encore, entre Toulon et Fréjus, un petit groupe granitique qui compose les montagnes des Maures et qui se lie à celles de l'Esterelle, formées de porphyres et de grès bigarrés.

Fig. 344. *Esquisse de la composition géologique de la France.*

La région où se trouve Paris est au contraire une contrée basse où de toutes parts s'enfonce le calcaire du Jura sous un remplissage central auquel il sert de support, de récipient, et dont il excède généralement la hauteur. L'intérieur de ce bassin est rempli par une succession d'assises concentriques, comparables à une série de vases semblables qu'on ferait entrer les uns dans les autres. Les terrains crétacés, inférieurs et supérieurs, forment les assises diverses qui succèdent au terrain jurassique et se montrent à découvert sur les bords du bassin, où ils s'élèvent plus ou moins haut; vers le centre, ces dépôts sont cachés, soit par les calcaires grossiers parisiens, qui s'étendent jusqu'en Belgique, soit par les grès de Fontainebleau, les calcaires lacustres de la molasse, etc., qui s'étendent jusqu'au-delà de la Loire.

Au sud, la Gascogne et tout le terrain qui s'étend jusqu'aux Pyrénées nous présentent une autre contrée basse, sous laquelle plongent également les calcaires jurassiques. Le terrain crétacé s'y trouve au nord entre la Charente et la Dordogne, et au sud

tout le long des Pyrénées, au milieu desquelles il se trouve relevé jusqu'à de très grandes hauteurs. Au centre, on trouve autour de Bordeaux, sur toute la rive droite de la Garonne, le calcaire grossier parisien; plus à l'est, jusqu'au pied des montagnes granitiques du Tarn, c'est le terrain de molasse; enfin, à l'ouest, sur toute la rive gauche du fleuve, se trouve le troisième étage qui complète la série des dépôts tertiaires.

La grande vallée de la Saône et du Rhône constitue un autre bassin étroit, allongé du nord au sud, et élargi à sa partie inférieure. Dans le haut, de Besançon à Valence, c'est le terrain de la Bresse, ou troisième dépôt tertiaire; mais plus loin, jusqu'à Marseille, où se trouve le terrain de molasse, on rencontre les grès verts, appuyés sur les terrains jurassiques des Cévennes, du Dauphiné et de la Provence, jusqu'aux limites du royaume.

§ 218. — Tels sont les traits les plus généraux de la composition géologique de la France; ils suffisent pour qu'on puisse en conclure avec certitude la position de tous les dépôts sédimentaires. Ainsi, tous les dépôts antérieurs au terrain jurassique se trouvent placés entre les terrains granitiques et la ceinture calcaire qui les enveloppent; c'est dans l'intervalle qu'il faut chercher le terrain houiller, le terrain pénéen et le trias. C'est en effet la position des houillères de la Bourgogne et du Bourbonnais, de Saint-Étienne, d'Alais et de la partie méridionale des Cévennes, du Quercy et du Périgord. On reconnaît immédiatement ainsi les gisements principaux de la houille en France, et il suffit ensuite de se rappeler la grande bande, en quelque sorte indépendante, qui traverse le plateau central et les différents amas qui s'y trouvent d'ailleurs dispersés, § 164, pour les avoir tous. C'est aussi dans ces terrains granitiques, ou sur leurs bords, que se trouvent les dépôts métallifères, tant ceux qui forment des filons que ceux qu'on rencontre en amas à la jonction des dépôts de sédiment, soit dans les arkoses des diverses époques, soit dans les calcaires mêmes qui les recouvrent.

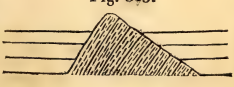
Les dépôts supérieurs au terrain jurassique se trouvent au contraire à l'extérieur de cette ceinture. C'est ainsi que, de quelque côté qu'on se dirige en sortant de Paris ou de Bordeaux, on est certain de rencontrer successivement les trois divisions des dépôts tertiaires, puis le terrain crétacé supérieur, le terrain crétacé inférieur, ses grès verts et toutes ses modifications, etc.; c'est dans ces deux bassins, ou dans celui qui s'étend de Besançon jusqu'à Marseille, qu'il faut encore chercher les dépôts de lignites des divers étages.

AGES RELATIFS DES PRINCIPALES CATASTROPHES DU GLOBE.

§ 219. **Remarques préliminaires.** — Si la terre n'avait jamais subi aucun bouleversement, toutes les couches sédimentaires dont se compose son écorce solide seraient rigoureusement concentriques ; elles se recouvriraient toutes successivement, et la dernière, enveloppant toutes celles qui l'ont précédée, se trouverait elle-même sous les eaux, qui s'étendraient en une mer sans bornes, occupant toute la surface du globe. Il n'y aurait dès lors aucune terre visible, et le genre humain n'existerait pas ; d'où il suit qu'avant toute création terrestre, il est d'absolue nécessité que le globe ait été le théâtre d'un certain nombre de catastrophes, pour élever successivement les terres au-dessus des eaux, et établir un ordre de choses plus ou moins analogue à celui que nous voyons. Il fallait que l'*aride parût*, et nous pouvons ajouter, en nous fondant sur l'observation, il fallait qu'il parût par portions successives pour déterminer à sa surface toutes les variations de nature, de forme, d'humidité, de sécheresse, dont l'ensemble devait procurer à l'homme la somme de bien-être que le Créateur lui destinait ici-bas. La recherche de ces apparitions successives des terres est aujourd'hui un des plus beaux points de vue sous lesquels on puisse envisager la géologie ; et nous devons à M. Élie de Beaumont de nous avoir ouvert la route à suivre, en établissant l'ordre chronologique des principales catastrophes arrivées en Europe, et autour desquelles viendront se grouper tous les faits du même genre. Nous allons donner une idée générale de ce travail ; mais, avant de raconter ces grands événements, il est bon de faire voir comment on parvient à les distinguer les uns des autres.

Aussitôt que nous apercevons quelque part des couches sédimentaires inclinées, nous pouvons prononcer qu'elles ont été dérangées de leur position originaire, et qu'il y a eu soulèvement, § 105 à 119. L'époque de cet accident reste d'abord indéterminée; mais si, au pied des proéminences plus ou moins élevées que ces couches redressées produisent, nous trouvons d'autres sédiments, *a*, *b*, *c*, *d*, fig. 345, en couches horizontales appuyées contre les précédentes, il devient évident que le soulèvement des premières a eu lieu avant la formation des secondes, qui se trouvent encore telles qu'elles ont été produites sous les eaux. Nous avons alors un terme de comparaison, et si nous parvenons à recon-

Fig. 345.



naître l'âge relatif du dépôt horizontal, nous avons aussi une époque relativement déterminée de la catastrophe qui a produit le redressement de l'autre. Or, partout on reconnaît de ces différences de stratification sur les flancs des montagnes, et l'on observe alors que les divers dépôts sédimentaires ne sont pas indifféremment dans l'une ou l'autre des positions. Dans certains lieux, on voit, par exemple, le terrain *a* redressé, fig. 346, et le terrain *b* horizontal. Dans un autre, *a* et *b* sont redressés à la fois, fig. 347, et c'est le terrain *c* qui est horizontal ; dans un troisième *a*, *b*, *c*, sont relevés ensemble, et un autre terrain *d* s'appuie horizontalement sur eux, fig. 348, etc. On conclut nécessairement de ces observations qu'un

Fig. 346.

Fig. 347.

Fig. 348.

premier soulèvement s'est fait après la formation de *a* et avant celle de *b* ; qu'un second s'est fait entre *b* et *c*, un troisième entre *c* et *d*, etc., et ainsi de suite, chronologiquement, tant qu'on en observe.

§ 220. **Systèmes de soulèvements.** — Remarquons maintenant que si la position inclinée des couches sédimentaires nous révèle l'existence des soulèvements, la direction de ces couches, qui n'est autre chose que celle de la ligne de faîte produite par leur bombement, ou la crête qui résulte de leur rupture, nous montre l'alignement qu'a suivi le phénomène, De là il suit qu'on peut à volonté prendre un des faits pour l'autre comme base d'observation, et que les directions diverses des chaînes de montagnes sont aussi les indices de diverses sortes de soulèvements. En effet, d'un côté, il est parfaitement établi que l'inclinaison des couches est en relation intime avec la direction des chaînes, sauf les perturbations qui résultent des croisements ; de l'autre on sait que le phénomène du redressement d'un nombre de couches déterminé s'étend aussi loin que la chaîne elle-même. Il est également constaté, du moins pour l'Europe, que les chaînes parallèles correspondent en général à la même époque de soulèvement ; c'est-à-dire que dans ces chaînes ce sont les terrains du même âge qu'on trouve partout redressés, et que les suivants sont placés horizontalement. Il suit de cette circonstance qu'un soulèvement ne s'est pas fait purement sur une ligne mathématique, mais sur une bande de terrains

plus ou moins large, sur laquelle il s'est manifesté par plusieurs crêtes parallèles. Remarquons aussi que la même ligne n'est pas toujours continue d'un bout à l'autre, qu'il s'y trouve çà et là des parties hautes et des parties basses, et que celles-ci sont souvent cachées par des dépôts postérieurs; c'est donc l'alignement des diverses crêtes élevées qu'on doit prendre pour direction.

L'ensemble des directions sur une même ligne, et des directions parallèles, forme ce qu'on nomme un *système de soulèvement*, expression synonyme de système de fractures, système de couches redressées, et même système de montagnes, mais dans un sens plus déterminé qu'en géographie. Pour désigner les différents systèmes, on a emprunté des dénominations aux lieux où chacun d'eux se trouve particulièrement développé : c'est ainsi qu'on dit *système des Pyrénées*, *système des Alpes occidentales*, etc.

Les diverses catastrophes qui ont eu lieu à la surface du globe paraissent toujours avoir été brusques. En effet, loin des lieux où la discordance de stratification se manifeste, on trouve souvent les mêmes dépôts en stratification concordante, et même liés entre eux par des passages graduels; d'où il suit que la sédimentation n'a pas été suspendue, que le mouvement du sol a été local, quoique sur une étendue plus ou moins considérable, et que l'intervalle pendant lequel il s'est opéré a dû être extrêmement court. C'est ce qu'on voit clairement, par exemple, à l'époque du système du Rhin, où le grès vosgien s'est trouvé soulevé sur une certaine étendue sans que le grès bigarré ait participé à l'action; et cependant, à peu de distance, les deux dépôts arénacés, là où leur stratification est concordante, sont tellement liés entre eux que l'on ne sait où l'un commence et où l'autre finit. Il en est de même des terrains crétacés; si plusieurs de leurs dépôts sont discordants en quelques points, ils sont tout-à-fait concordants ailleurs, et ils offrent alors de tels passages de l'un à l'autre qu'on les a longtemps confondus en une seule formation.

§ 221. **Terrains submergés et découverts.** — Les couches sédimentaires appuyées horizontalement sur les flancs des montagnes, annoncent que les mers sont venues battre successivement au pied des escarpements produits par les soulèvements antérieurs; de là les expressions de mer de tel ou tel terrain, comme *mer crétacée*, *mer jurassique*, etc., qui indiquent les eaux sous lesquelles chacun de ces dépôts sédimentaires s'est formé. L'absence d'un dépôt, sur une étendue plus ou moins considérable, nous indique que le terrain précédent était alors au-dessus des mers, et y formait une île plus ou moins élevée. C'est ainsi que le plateau central de la France

a dû être à sec dès les époques les plus reculées, et qu'au moment de la formation parisienne, la plus grande partie de l'Europe même devait être découverte, puisque nous voyons à peine quelques traces de ces dépôts ailleurs qu'aux environs de Paris ou de Bordeaux. Mais il arrive aussi que les parties qui se trouvaient à sec en un certain moment ont été ensuite recouvertes par des sédiments plus modernes, d'où il faut conclure qu'elles se sont affaissées pour recevoir ces nouveaux dépôts : c'est par de tels affaissements que certaines catastrophes sont surtout caractérisées.

§ 222. **Direction des divers systèmes.** — Les divers soulèvements jusqu'ici classés se distinguent éminemment par leurs directions, et c'est pour en donner une idée générale que nous les avons tracées, relativement au méridien de Paris, dans la fig. 349, qui devient

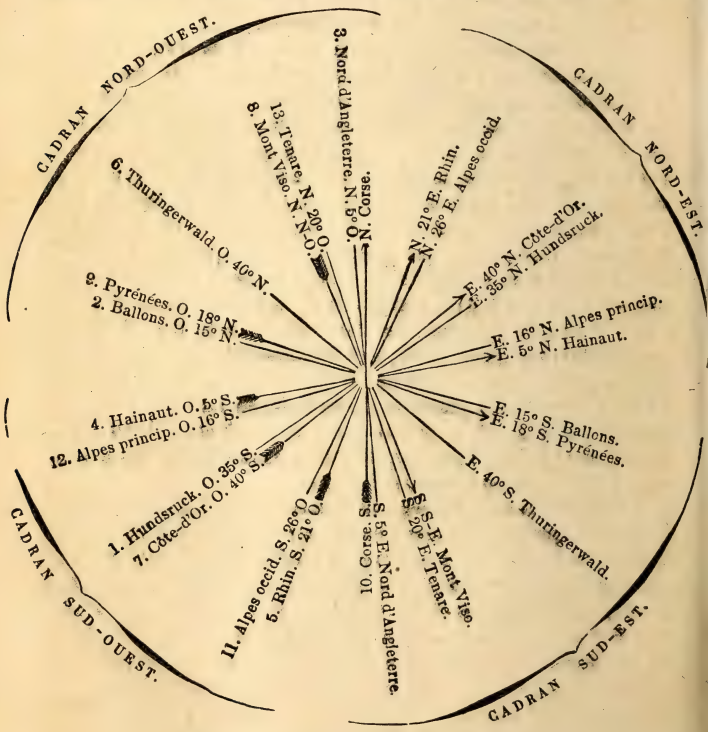


Fig. 349. *Rose des principaux soulèvements.*

comparable à ce qu'on appelle la rose des vents; nous en présentons en outre l'ordre de succession, formant treize époques distinctes, dans le tableau suivant :

1er	soulèvement,	dirigé de	O. 35° S. à E. 35° N.
2e	—	—	O. 15° N. à E. 15° S.
3e	—	—	N. 5° O. à S. 5° E.
4e	—	—	O. 5° S. à E. 5° N.
5e	—	—	S. 21° O. à N. 21° E.
6e	—	—	O. 40° N. à E. 40° S.
7e	—	—	O. 40° S. à E. 40° N.
8e	—	—	N. O. à S. E.
9e	—	—	O. 18° N. à E. 18° S.
10e	—	—	N. à S.
11e	—	—	S. 26° O. à N. 26° E.
12e	—	—	O. 16° S. à E. 16° N.
13e	—	—	N. 20° O. à S. 20° N.

On voit par ces tableaux que, parmi les soulèvements classés, il en est qui se dirigent du cadran N.-O. au cadran S.-E., comme les 2e, 3e, 6e, 8e, 9e, 13e; d'autres, au contraire, se dirigent du cadran S.-O. au cadran N.-E., comme les 1er, 4e, 5e, 7e, 11e, 12e; ceux-ci, par conséquent, ne peuvent être confondus avec les premiers. Le croisement se fait sous différents angles qui approchent quelquefois beaucoup de l'angle droit; c'est ce qui a lieu entre le 5e et le 9e soulèvement, qui se rencontrent sous un angle de 93° ou 87°, comme aussi entre le 5e et le 2e, dont les angles sont 96° et 84°, etc.

On doit voir aussi, d'un autre côté, qu'il y a des soulèvements dont les directions se rapprochent considérablement, tels que le 1er et le 7e, le 2e et le 9e, le 3e et le 10e, le 5e et le 11e, qui se croisent sous des angles de 3 et de 5°, etc. En général, les soulèvements tendent à revenir, après plus ou moins de temps, vers la direction sur laquelle il s'en était déjà opéré, et l'on peut remarquer qu'ils sont presque tous groupés deux à deux. Quelquefois il arrive qu'une de ces catastrophes vient rentrer, en certains points de sa direction, dans la ligne de fractures déterminée par un soulèvement précédent; c'est ce qui a eu lieu, par exemple, dans le soulèvement de la Côte-d'Or qui est rentré dans la direction du système du Rhin, en traversant la partie méridionale du Morvan, le Beaujolais, etc. On verra plus loin que diverses éjections volcaniques se sont faites à travers les fissures mêmes qui avaient été produites par d'anciennes dislocations.

§ 223. **Position géographique des principaux systèmes.** — Étudions maintenant sur une carte la position des principaux sys-

tèmes de soulèvements, dont M. Élie de Beaumont nous a fait connaître l'âge relatif. Nous distinguons d'abord, fig. 350, par les traits de diverses formes qui marquent les directions, les deux grandes divisions que nous avons indiquées. Il y a une série qui marche du cadran N.-O. au cadran S.-E., et qu'on remarque sous différentes formes en Normandie et en Bretagne, dans le Poitou, le Limousin, les Pyrénées et les Apennins; une autre série, qui couvre la partie orientale de la carte, marche du cadran S.-O. au cadran N.-E.: au centre seulement, nous remarquons deux lignes qui vont du N. au S. Mais si à ce premier aperçu général on

Fig. 350.

Orientation des principaux soulèvements en France et dans les contrées voisines.

Système du Hundsruck.
Système des Ballons.
Système nord d'Angleterre.
Système du Hainaut.
Système du Rhin.
Système du Thuringerwald.
Système de la Côte-d'Or.
Système du mont Viso.
Système des Pyrénées.
Système de Corse.
Système des Alpes occident.
Système des Alpes princip.
Système du Ténare.

joint quelques mesures exactes qui indiquent les directions, on reconnaît dans chaque groupe plusieurs divisions que nous allons brièvement faire connaître.

A. D'abord dans les Alpes, nous voyons deux directions nettement prononcées : l'une, ——, qui forme le *système des Alpes occidentales*, va du S. 26° O. au N. 26° E., en présentant plusieurs chaînes parallèles à l'est et à l'ouest ; l'autre, —·—·—, qui forme le *système des Alpes principales*, et s'étend du Valais jusqu'en Autriche, va de O. 16° S. à E. 16° N. Celle-ci offre également quelques chaînes parallèles plus ou moins rapprochées de la ligne centrale, et plusieurs autres beaucoup plus éloignées au sud, qu'on remarque dans le comtat d'Avignon et la Provence. Ces deux grands systèmes dessinent très nettement le relief de cette partie, la plus montagneuse de l'Europe ; ils se croisent en formant le Mont-Blanc et le Mont-Rose, les deux colosses de nos contrées, qui s'élèvent à environ 4800 mètres.

B. Après ces deux systèmes, nous distinguons sur les bords du Rhin, depuis Bâle jusqu'à Mayence, une direction de falaises, ——, presque parallèle à celle des Alpes occidentales, qu'elle tend cependant à croiser, car elle ne va que de S. 21° O. à N. 21° E : c'est le *système du Rhin*, dont on retrouve les traces, par des fractures de même direction, dans les montagnes comprises entre la Saône et la Loire, dans celles du centre et du midi de la France, et jusque sur le littoral du comté de Nice.

C. Plus loin, sur les deux rives de la Moselle, dans ce qu'on nomme le Hundsruck et l'Eiffel, et même au-delà, dans le pays de Nassau et jusque dans le Harz, nous trouvons, sinon des crêtes de montagnes, du moins des directions de couches redressées, ——, qui vont de O. 35° S. à E. 35° N., et se rapprochent du parallélisme de la Côte-d'Or. Ces accidents se présentent également en Angleterre, dans le district des lacs de Westmoreland, dans les principales chaînes de grauwacke du pays de Galles et dans le Cornouailles, comme nous l'avons indiqué sur la carte vers le cap Lizard. On en trouve des traces en Bretagne, au pied de la montagne Noire sur le canal des deux mers, et dans les Pyrénées en travers de la direction principale ; les Vosges dans leur partie septentrionale, l'Allemagne dans divers lieux, la Scandinavie et la Finlande, en offrent également de très marquées. C'est là ce qu'on nomme le *système du Westmoreland* et *du Hundsruck*.

D. Il se présente encore, dans cette partie, un système très développé : c'est le *système de la Côte-d'Or*, ——, au N.-O. de Dijon, parallèlement auquel se dirigent d'un côté toutes les crêtes

du Jura, de l'autre toutes les montagnes des Cévennes, jusqu'à la montagne Noire au canal de Languedoc. La direction moyenne est ici O. 40° S. à E. 40° N.

E. Dans les systèmes N.-O. à S.-E., la Bretagne, et le Bocage de Normandie nous présentent des collines, et surtout des directions de couches redressées, , qui vont de O. 15° N. à E. 15° S. Si, dans ces contrées, nous ne voyons pas de chaînes bien distinctes, nous devons remarquer que dans le sud de l'Irlande diverses parties des *monts Galty* sont sur cette même direction, et que les ballons des Vosges, indiqués sur la carte à la hauteur de Bâle, ainsi que la chaîne granitique de la Lozère, au-dessus de Mende, s'y trouvent également. Cette direction forme ce qu'on appelle le *système des Ballons* et *du Bocage*.

F. Un autre *système* de direction, , presque parallèle au précédent, est celui *des Pyrénées*, dont il prend le nom. Il est dirigé de O. 18° N. à E. 18° S. Les Apennins ont une direction parallèle, qu'on retrouve aussi dans quelques accidents du centre de l'Italie, et surtout dans les Alpes Juliennes, dans la Croatie, la Bosnie, et jusque dans la Grèce, où partout ce sont des montagnes très étendues.

G. Ce qu'on nomme *système du mont Viso* nous offre une autre direction, , sensiblement S.-S.-E. à N.-N.-O, qu'on observe dans une série de fractures qui, des environs de Nice, s'étend à travers les Alpes occidentales jusque dans la Bresse. On retrouve des crêtes, des fractures, des redressements de même direction dans tout le royaume de Valence en Espagne, au pied septentrional des Pyrénées, puis dans le Périgord, la Saintonge, le Poitou, et jusqu'à l'embouchure de la Loire.

H. On distingue aussi très nettement un système qui va du N. au S. , dans les montagnes qui encaissent les hautes vallées de la Loire, de l'Allier et de la Saône. On retrouve ce système dans les îles de Corse et de Sardaigne, ce qui lui a fait donner le nom de *système de Corse*.

I. Dans la direction de Liége à Lille, ou E. 5° N. à O. 5° S., on remarque, , une série de dislocations qui ne produit que de faibles collines, mais qui s'étend du pays de Mansfeld, sur les bords de l'Elbe, jusqu'à l'extrémité du Pembrokshire, la pointe occidentale du pays de Galles, et dont les traces sont très nettes en Bretagne. On l'a nommé, d'après les lieux où il est le plus rapproché de nous, *système du Hainaut*.

K. Enfin nous voyons trois autres systèmes; l'un, , est le *système du Thuringerwald*, qui traverse le Quercy, le Limousin,

le Poitou ; un autre, le système du nord de l'Angleterre, ·····, ne s'aperçoit guère en France qu'à la pointe de Bretagne et dans les montagnes de Tarare ; le dernier, ·.·.·.·.·.·., ou *système du Tenare*, n'est connu jusqu'ici chez nous qu'en Provence.

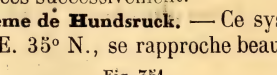
§ 224. **Époques relatives des divers systèmes.** — On conçoit que des directions aussi peu différentes que plusieurs de celles que nous avons indiquées, ne suffiraient pas pour établir rigoureusement des systèmes distincts ; et cela d'autant moins qu'il existe une multitude de variations qui conduisent forcément à prendre des moyennes pour fixer une direction générale. Dès lors beaucoup de systèmes se confondraient si, au caractère de direction moyenne, on ne joignait la considération des époques relatives de soulèvement. Voici le tableau des époques qui ont pu être rigoureusement reconnues, avec l'indication des terrains inférieurs soulevés et des dépôts supérieurs qui se sont ensuite formés.

1er soulèvement, — entre le terrain cambrien et le terrain silurien.
2e soulèvement, — entre le terrain silurien et le terrain houiller.
3e soulèvement, — entre le terrain houiller et le terrain pénéen.
4e soulèvement, — entre le terrain pénéen et le grès vosgien.
5e soulèvement, — entre le grès vosgien et le trias.
6e soulèvement, — entre le trias et le terrain jurassique.
7e soulèvement, — entre le terrain jurassique et le grès vert.
8e soulèvement, — entre les deux terrains crétacés.
9e soulèvement, — entre la craie supérieure et le calcaire parisien.
10e soulèvement, — entre le calcaire parisien et la molasse.
11e soulèvement, — entre la molasse et le terrain subapennin.
12e soulèvement, — entre le terrain subapennin et le diluvium.
13e soulèvement, — après le diluvium et peut-être quelques alluvions modernes.

Donnons maintenant quelques détails sur chacune de ces catastrophes, qui ont donné lieu à l'apparition des diverses parties du continent européen et les ont modifiées successivement.

§ 225. — 1er **soulèvement, système de Hundsruck.** — Ce système, par sa direction O. 35° S. à E. 35° N., se rapproche beaucoup de celui de la Côte-d'Or, qui court par O. 40° S. ; mais il en diffère immensément par l'âge relatif, car ce sont seulement les plus anciens dépôts sédimentaires, § 157, les dépôts cambriens, *a*, qui ont été soulevés, fig. 351, et les dépôts siluriens se sont formés sur leurs tranches en couches horizontales. Il en est bien autrement du système de la Côte-d'Or, car celui-ci a soulevé les dépôts

Fig. 351.



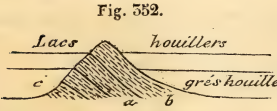
1er *Soulèvement. Système de Hundsruck.*

jurassiques, et, en conséquence, se trouve e septième dans l'ordre chronologique.

Ce système de redressement se manifeste dans une multitude de localités; c'est la direction dominante, et pour ainsi dire fondamentale, des feuillets plus ou moins inclinés de gneiss, de schistes micacés, de calcaires, etc., de la plupart des montagnes qu'on a nommées primitives et transitives. C'est suivant cettte direction, fig. 350, ⎓⎓⎓⎓⎓⎓⎓⎓, que se trouvent placées les couches fort inclinées du terrain cambrien étendu en travers de la Bretagne et de la Normandie, entre Pontivy et Saint-Lô, soulevées à cette époque par l'arrivée des granites qui les ont percées et que rien depuis n'a recouvertes. Les terrains ardoisiers des Ardennes, de l'Eiffel et du Hundsruck, également découverts, ont encore leurs couches dirigées de même, ainsi que les grauwackes et les calcaires de la partie centrale des Vosges. Des directions semblables de couches schisteuses se font remarquer dans les montagnes du Beaujolais, du Forez, à la montagne Noire, au Canigou et dans d'autres parties des Pyrénées, quoique le relief actuel de ces contrées soit dû à des catastrophes plus récentes. Le plateau central de la France, qui semble avoir été mis très anciennement à découvert, puisqu'il ne présente pas même de dépôts de transition, offre néanmoins dans les couches de gneiss qu'il renferme des directions qui annoncent l'influence de ce soulèvement.

§ 226. — 2e **soulèvement, système des Ballons.** — Les dépôts siluriens ont conservé en quelques lieux, comme en Scandinavie et en Finlande, leur horizontalité primitive jusqu'à nos jours; mais ils ont été dérangés ailleurs et soulevés avec les terrains cambriens, horizontaux ou déjà redressés, qui les supportaient, fig. 352. Le terrain houiller, § 160 à 164, s'est alors formé en couches horizontales dans les mers qui battaient au pied de leurs montagnes ou dans les flaques d'eau qui couvraient çà et là leur surface. C'est là ce qui distingue éminemment le système des Ballons de celui des Pyrénées, si rapprochés par la direction, fig. 349, qu'il n'y a entre eux qu'un angle de 3°. En effet, les Pyrénées n'ont pris leur relief actuel qu'après le dépôt de six autres terrains successifs, c'est-à-dire après la craie, dont les couches sont souvent relevées à de très grandes hauteurs; le terrain horizontal qui s'est alors formé à leur pied est le premier des dépôts tertiaires.

Fig. 352.



2e *soulèvement. Système des Ballons.*

Ce système, postérieur au précédent, et antérieur au terrain houiller, est nettement marqué dans les dépôts siluriens de la Bretagne, fig. 350, ~~~~~, dont les couches se dirigent dans le sens de l'allongement de la presqu'île, tandis que celles du terrain cambrien se dirigent en travers. L'apparition des granites qui forment la côte S.-O. est probablement contemporaine de ce soulèvement, indiqué d'ailleurs par la direction des couches de gneiss qui s'y rattachent. On retrouve la même direction dans les dépôts siluriens de la Normandie, dans ceux de la partie méridionale des Vosges, redressés parallèlement à la ligne des Ballons, dont les élévations paraissent produites par l'apparition des siénites qui ont soulevé les masses porphyriques de la contrée. Les granites porphyroïdes de la Lozère présentent une chaîne orientée de la même manière, comme aussi quelques parties de la Margeride formées des mêmes roches. Les gneiss du plateau central de la France présentent dans leurs couches des directions semblables en beaucoup de points, ainsi que quelques granites porphyroïdes de la Corrèze.

Hors de France, le Harz, qui montre déjà l'influence du premier soulèvement, doit probablement au second sa forme dominante, déterminée par l'apparition des granites du Broken et de la Rostrap, placés sur la direction qui nous occupe, et par l'escarpement, dirigé de même, qui le termine au N.-N.-E.

§ 227. — 3e **soulèvement, système du nord de l'Angleterre.** — Cette nouvelle catastrophe diffère singulièrement des deux précédentes; d'un côté par sa direction presque N. à S. qui couperait celle des premières sous de grands angles, 120° pour le système de Hundsruck et 70° pour celui des Ballons; de l'autre, par l'époque où elle s'est manifestée. Le grès houiller, en effet, s'est trouvé aussi bouleversé, redressé en divers lieux, fig. 353, et c'est le terrain pénéen, § 165. que les mers d'alors ont formé sur ses flancs. Ce système se rapproche beaucoup par sa direction de celui de la Corse; mais à l'époque de ce dernier cinq autres dépôts avaient été déjà soulevés; et c'est la molasse, époque moyenne du terrain tertiaire, qui s'est formée horizontalement sur les escarpements produits.

Fig. 353.

3e *soulèvement. Système du nord de l'Angleterre.*

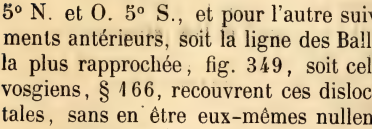
Le système du nord d'Angleterre se fait remarquer par des lignes de faîte, ou de grandes fractures, qui s'étendent de la latitude de Derby jusqu'aux frontières de l'Écosse, à travers l'Yorkshire, entre

le Cumberland et le Northumberland, et dont il se trouve des traces dans les environs de Bristol ainsi que dans la partie méridionale de l'Irlande; on le reconnaît de même en Scandinavie, tant en Norvége qu'en Suède, dans les crêtes des chaînes du sud. Cette direction se présente dans les lignes de fractures qu'on reconnaît dans la partie septentrionale de la Bretagne, fig. 350, ..., qui paraissent se rattacher à l'éruption des roches amphiboliques qu'on y rencontre en divers points. On la retrouve encore dans les dislocations des montagnes de Tarare, dans celles des dépôts houillers du Forez et dans quelques parties des montagnes granitiques qui les encaissent, enfin dans les dépôts houillers du Var, etc.

M. Sedgwich a fait voir que ce soulèvement est dû, en Angleterre, à l'apparition des roches trapéennes nommées *toadstone* et *winstone*, qui traversent les terrains houillers du Derbyshire et du Cumberland. En France, nous ne savons à quoi l'attribuer; car s'il paraît quelquefois avoir été déterminé par l'apparition de certains porphyres noirs, comme dans le pays d'Aubin, on voit bientôt que ces roches atteignent jusqu'au grès bigarré, et par conséquent sont d'une époque plus moderne (5e soulèvement).

§ 228. — 4e **soulèvement, système du Hainaut.** — Ici c'est moins un soulèvement qu'une catastrophe de dislocation et de compression qui s'étend du Mansfeld au Pembrokeshire, à travers les Pays-Bas, fig. 350, ——. Elle n'a produit que de faibles protubérances à la surface du sol, mais elle a déterminé un grand nombre de failles, a replié et contourné, souvent de la manière la plus bizarre, toutes les couches existantes, fig. 354, comme nous l'avons vu dans les houillères de Mons, § 120, atteignant à la fois le terrain houiller et le terrain pénéen. Les fractures, les replis se sont produits pour une moitié dans la direction E. 5° N. et O. 5° S., et pour l'autre suivant les lignes des soulèvements antérieurs, soit la ligne des Ballons des Vosges, qui en est la plus rapprochée, fig. 349, soit celle du Hundsruck. Les grès vosgiens, § 166, recouvrent ces dislocations en couches horizontales, sans en être eux-mêmes nullement affectés, comme on le voit dans les environs de Sarrebruck. On retrouve ce système au centre de la presqu'île de Bretagne, dans l'alignement de certains îlots granitiques qui ont accidenté les divers dépôts houillers, et qu'on voit se diriger des environs de Laval jusque vers Quimper.

Fig. 354.



4e soulèvement. Système de Hainaut.

§ 229. — 5e **soulèvement, système du Rhin.** — Celui-ci, qui est un des plus simples, consiste principalement en deux grandes falaises sur les deux rives du Rhin; entre Bâle et Mayence, fig. 350. ——, avec divers autres escarpements parallèles indiquant autant de failles qui ont tout divisé, jusqu'au grès vosgien, et ont placé les lambeaux de ces derniers à diverses hauteurs, sans déranger leur position horizontale. Il en est résulté, dans les mers de cette époque, des îles autour desquelles la série du trias, § 167, s'est déposée à un niveau moins élevé, fig. 355. C'est sur cette direction que se trouvent les petits dépôts houillers alignés sur le plateau central de France entre Decize et Mauriac, § 164, fig. 223. Ils y sont rangés le long d'une série de monticules, dirigés de même, et composés de granites porphyroïdes qui ont traversé les grès houillers, et dont ils ont quelquefois enveloppé des lambeaux, § 138. L'apparition de quelques porphyres feldspathiques du Morvan, et peut-être de certains porphyres quarzifères du Beaujolais, qui ont dérangé le terrain houiller sans pénétrer dans les assises supérieures, a donné également lieu à diverses fractures de même direction dans les montagnes comprises entre la Saône et la Loire.

Fig. 355.

5e *soulèvement. Système du Rhin.*

Ce système se rapproche beaucoup par la direction de celui des Alpes occidentales, qu'il croiserait sous l'angle de 5°, fig. 349; mais il y a une très grande distance d'époque, car le système alpin occidental n'a eu lieu qu'après deux des dépôts tertiaires.

§ 230. — 6e **soulèvement, système du Thuringerwald.** — Les montagnes qui donnent le nom à ce système, et dont le Boehmerwald est la continuation, forment les limites naturelles entre la Bavière et les royaumes de Saxe et de Bohême. Elles nous offrent, depuis Cassel jusqu'à Linz, la partie la plus élevée des accidents qui ont eu lieu à travers les dépôts du trias, et c'est sur leurs tranches relevées que se sont formés les dépôts jurassiques, § 172, en couches horizontales, fig. 356. En France, fig. 350, ~~~~, ce système n'offre que de faibles saillies; on en voit quelques traces dans la partie S.-O. des Vosges, où le grès bigarré se trouve considérablement élevé, suivant cette direction, au-dessus

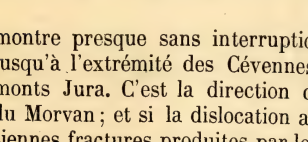
Fig. 356.

6e *soulèvement. Syst. du Thuringerwald.*

de son niveau général, ce qui est dû probablement à l'apparition des buttes de serpentine qui se montrent dans cette partie. Plus loin, entre Avallon et Autun, quelques îlots de granite et de trias disloqué, sont encore allongés suivant cette direction et entourés de calcaire jurassique qui n'a nullement participé au mouvement. On trouve le même phénomène dans les porphyres des environs d'Aubin dans l'Aveyron, qui ont disloqué le grès houiller et le trias sans atteindre les dépôts du Jura, et qui se trouvent sur la ligne des buttes de serpentine qu'on remarque en Limousin d'où on les suit jusque dans la Vendée. C'est sur cet alignement que se montrent, auprès de Brives et de Terrasson, des lignes anticlinales et des crêtes dans les dépôts de grès bigarré; c'est enfin la direction de la côte S.-O. de la Bretagne.

§ 231. — 7e **soulèvement, système de la Côte-d'Or.** — Ce système est, pour la direction, l'inverse du précédent; il s'écarte de l'ouest au sud, fig. 349, comme l'autre de l'ouest au nord, faisant ainsi avec le premier un angle de 80°. Par conséquent, si le rapprochement d'âge pouvait laisser le moindre doute sur la différence des systèmes, les directions le lèveraient immédiatement. Les dépôts jurassiques, que nous venons de voir se former horizontalement, se trouvent maintenant redressés, fig. 357, et le terrain crétacé inférieur, § 185, s'est ensuite formé en couches horizontales sous les eaux qui battaient leurs pentes ou leurs escarpements. Ce système est parfaitement distinct en France, fig. 350, ——, où il se montre presque sans interruption depuis le plateau de Langres jusqu'à l'extrémité des Cévennes, et dans toutes les crêtes des monts Jura. C'est la direction de la chaîne de la Côte-d'Or et du Morvan; et si la dislocation a suivi dans le Beaujolais les anciennes fractures produites par le système du Rhin, on la retrouve en Forez, dans la chaîne du Pilas, dont les premiers dérangements datent de l'époque de Hundsruck, et au pied de laquelle tous les terrains houillers sont divisés par des failles qui ont toutes cette direction. C'est ce système qui a relevé, disloqué tout le bord oriental du plateau central de la France, après les dépôts jurassiques, qui y sont fortement relevés, tandis que sur les autres bords il n'y a pas de dérangement : cela signifie que ce plateau n'a subi, dans la plus grande partie de son étendue aucun dé-

Fig. 357.



7e soulèvement. Système de la Côte-d'Or.

rangement depuis l'époque jurassique. Il s'est également manifesté dans plusieurs parties de l'Allemagne, et notamment dans l'Erzgebirge, dépourvu de calcaire jurassique, mais au pied duquel le terrain de craie inférieure s'est déposé en couches horizontales. On le retrouve aussi dans quelques unes des falaises du Vicentin, au pied desquelles la craie s'est formée.

§ 232. — 8 **soulèvement, système du mont Viso.** — Les Alpes du Dauphiné présentent des chaînons très prononcés d'un système de redressement et de fractures, dans lequel le grès vert est lui-même compris aussi bien que les dépôts jurassiques, fig. 358. La craie supérieure, représentée par des couches à nummulites, § 191, est la seule qui se trouve en couches horizontales, comme on le voit surtout au col de Bayard. Des séries nombreuses de crêtes et de dislocations se trouvent sur cette direction dans les Alpes occidentales, fig. 350, ———; mais elles sont souvent masquées par les accidents subséquents, et surtout par le grand événement qui a donné à cette chaîne le relief que nous voyons aujourd'hui. On les suit encore dans les montagnes qui lient les Alpes au Jura, jusqu'aux environs de Pont-d'Ain et de Lons-le-Saulnier. On les reconnaît aussi dans de nombreuses lignes de fractures et de crêtes redressées du terrain crétacé inférieur, depuis l'île de Noirmoutier, dans la Vendée, jusque dans le royaume de Valence en Espagne, à travers les Pyrénées. Ce même mouvement a déterminé la principale direction des côtes d'Italie, ainsi qu'un système de crêtes très élevées en Grèce, dont le Pinde fait partie.

Fig. 358.

8e *soulèvement. Système du mont Viso.*

§ 233. — 9e **soulèvement, système des Pyrénées.** — Ce système se rapproche tellement de celui des Ballons qu'il ne fait avec lui qu'un angle de 3 degrés. Mais ici toute la craie supérieure elle-même, § 189 à 191, est relevée, fig. 359, même à des hauteurs considérables, formant de grands escarpements dans le haut des vallées; le dépôt qui s'est alors formé horizontalement dans les mers appartient au calcaire parisien, § 193, par lequel on commence ordinairement les terrains tertiaires. Or ces dépôts offrent très peu d'étendue à la surface de la France, nous pouvons même dire de

Fig. 359.

9e *soulèvement. Système des Pyrénées.*

l'Europe ; d'où il résulte qu'à l'époque du soulèvement des Pyrénées la plus grande partie de notre continent s'est trouvée tout-à-coup élevée au-dessus des eaux, et amenée à l'état de terre ferme.

Non seulement toute la chaîne des Pyrénées, tant en France que dans les Asturies, fig. 350, ═══, appartient à cette époque de soulèvement, mais encore les Apennins, les Alpes-Juliennes, les Karpathes et une foule d'autres qu'on suit à travers la Croatie, la Bosnie, les Balkans et jusque dans la Grèce; on retrouve la même direction dans de nombreuses dislocations et dénudations qu'on remarque en Allemagne, dans le nord de la France, comme dans le Boulonnais, dans le pays de Bray, et de là dans les Wealds de l'Angleterre, § 187 : d'où il résulte que cette catastrophe a été une des plus étendues qui aient eu lieu à la surface de l'Europe.

§ 234. — 10e **soulèvement, système de Corse.** — Ici l'accident arrivé à notre planète n'est plus marqué, comme dans les systèmes précédents, par un relèvement des couches formées immédiatement auparavant, par la raison que le calcaire grossier parisien, qu'on devrait trouver alors, a manqué dans les lieux où la nouvelle catastrophe s'est manifestée. L'absence de ce dépôt signifie que le sol était alors élevé au-dessus des mers dans lesquelles il se formait; mais comme l'observation nous montre que dans ces lieux mêmes il s'est fait depuis d'autres dépôts marins qui se rapportent aux terrains de molasse, § 197, il en faut conclure que ce qui se trouvait élevé d'abord au-dessus des eaux marines s'est nécessairement affaissé en un certain moment : c'est là le résultat principal de la catastrophe en question. En effet, une partie du bassin de Paris, la Touraine, la plus grande partie de la Gascogne, toute la Suisse, la vallée du Rhône depuis Lyon jusqu'à la mer, aussi bien que plusieurs parties de l'Italie, de la Corse et de la Sardaigne, qui, ne renfermant pas de calcaire parisien, devaient avoir été portées au-dessus des eaux par le soulèvement pyrénéen, ont dû s'affaisser alors pour recevoir les dépôts de molasse qu'on y trouve.

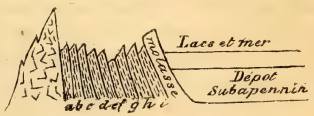
Cette catastrophe se manifeste néanmoins aussi, par des soulèvements et des démembrements qui ont donné la dernière forme aux montagnes qui s'élèvent entre les vallées de la Saône, de la Loire et de l'Allier, fig. 350, ++++++, en se dirigeant du nord au sud. Tous les dépôts secondaires sont dérangés dans ces contrées, et autour d'eux se sont formées des couches de molasse qui comprennent les dépôts d'eau douce de l'Auvergne et de la Loire. C'est sur la direction de ce soulèvement que se sont placées plus tard les masses volcaniques de la chaîne des Puys.

On retrouve des traces du système de Corse dans les montagnes

qui lient les Alpes au Jura, malgré les démembrements que la catastrophe suivante a pu opérer. Il existe aussi un grand nombre de chaînes de cette direction dans la partie orientale et méridionale de l'Europe : en Toscane, dans les États de l'Église, dans l'Istrie, dans l'Albanie, dans la Grèce, etc. Les îles de Corse et de Sardaigne sont allongées suivant cet alignement, et présentent aussi sur les côtes des dépôts tertiaires, en couches horizontales, du même âge que ceux qui se trouvent au centre de la France.

§ 235. — **11e soulèvement, système des Alpes occidentales.** — Si l'on aperçoit au milieu des Alpes de la Suisse, de la Savoie et du Dauphiné les traces des diverses catastrophes qui ont eu lieu depuis l'époque de soulèvement de la Côte-d'Or, § 231, il n'est pas moins clair que le relief actuel date d'une époque bien plus récente. En effet, les couches de molasse, qui ne se sont formées sous les eaux qu'après le système précédent, se trouvent maintenant elles-mêmes relevées, fig. 360, et quelquefois à de grandes hauteurs, aussi bien que les dépôts jurassiques et les deux formations de craie. Les seules couches horizontales sont celles qui appartiennent au terrain subapennin, et qui, autour de la chaîne elle-même, se composent des dépôts lacustres de la Bresse, du Bas-Dauphiné et de la Provence, § 203. Ainsi ces montagnes, ~~~~~, fig. 350, qui renferment les plus hautes cimes de l'Europe, n'ont paru à la surface du globe qu'après le second dépôt tertiaire. Les matières qui ont alors percé la croûte terrestre sont les espèces de granites qui constituent le Mont-Blanc, le Mont-Rose, une multitude d'îlots plus ou moins étendus qu'on rencontre de toutes parts, et autour desquels les terrains tertiaires, les terrains crétacés et jurassiques se trouvent relevés. Ces granites, qu'on avait nommés *protogyne*, à une époque peu avancée de la science, se trouvent être aujourd'hui plus modernes même que la meulière coquillière de Paris.

Fig. 360.



11e soulèvement. Système des Alpes occidentales.

Non seulement le soulèvement qui nous occupe a déterminé les hautes chaînes de la Savoie et du Dauphiné; mais il s'est en outre étendu fort loin en Europe, au nord comme au midi : d'un côté, la Nouvelle-Zemble et la presqu'île scandinave en sont affectées; de l'autre il se présente dans une série d'accidents de dislocation qui se continue depuis Narbonne jusqu'en Catalogne, en déterminant la position de toute la côte méditerranéenne de l'Espagne; plus

loin même, les montagnes de l'empire de Maroc sont dans la même direction et dans les mêmes circonstances, aussi bien que celles de la régence de Tunis, qui constituent une chaîne parallèle à l'autre extrémité de l'Atlas, dont toutes les chaînes transverses appartiennent d'ailleurs à la même époque.

§ 236. — 12e **soulèvement, système des Alpes principales.** — La grande catastrophe qui va maintenant nous occuper est celle qui semble avoir déterminé la plus grande partie du relief actuel du continent européen. Les dépôts lacustres formés au pied des Alpes occidentales, après leur apparition, sont eux-mêmes maintenant disloqués, et il n'y a plus que le diluvium, § 205, qui soit partout étendu autour de ce double groupe en couches horizontales. Ce soulèvement se trouve en relation avec l'apparition des mélaphyres de diverses variétés, des siénites, des euphotides et des serpentines qui ont redressé les terrains tertiaires du Piémont et de la Provence, en même temps que les roches granitoïdes qui constituent les sommets les plus élevés de la chaîne principale des Alpes, au pied desquels on les trouve dans un grand nombre de lieux.

Non seulement toutes les montagnes qui s'étendent du Valais et du Saint-Gothard jusqu'en Autriche, fig. 350, ..., ont surgi dans cette catastrophe, mais encore la plus grande partie du sol de l'Europe a participé au mouvement. En effet, la surface de ce continent s'élève souvent en pente douce vers les lignes de faîtes qui suivraient la direction de cette grande chaîne : c'est ainsi que les plaines de la Bavière s'élèvent lentement vers le sud un peu est, et que celles de la Lombardie s'élèvent en sens inverse. Dans l'intérieur de la France, on voit, dans le midi, les terrains tertiaires s'élever du sud vers le nord, des bords de la Méditerranée à la hauteur de Saint-Vallier, et au-delà la pente est en sens contraire. Des bords de la Loire le sol s'élève doucement, d'un côté vers le nord-nord-ouest, et de l'autre vers le sud-sud-est, jusque dans les vallées de l'Auvergne. Au pied des Pyrénées, les ophites ainsi que les gypses et les masses salifères qui s'y attachent, § 136, 214, forment une bande dont la direction est parallèle à la chaîne principale des Alpes, et rappelle la présence et les effets des serpentines de la vallée d'Aoste. A la Montagne Noire, la dernière forme, les derniers exhaussements, qui ont déterminé une énorme falaise, ont été produits à cette époque, puisque les derniers dépôts tertiaires y ont participé. Enfin la même direction se prolonge en Espagne dans les lignes de faîte et les grands cours d'eau de cette contrée.

§ 237. — 13e **soulèvement, système du Ténare.** — Nous voici à

la plus récente des catastrophes qu'on ait pu jusqu'ici classer en Europe. Elle a eu lieu à une époque où nos mers étaient uniquement peuplées des êtres qui y vivent aujourd'hui, et peut-être depuis que l'homme a paru sur la terre, § 211. Après les dépôts de diluvium qui entourent les Alpes principales de couches horizontales, il s'est fait des dislocations sur le sol de la Toscane parallèlement à un grand cercle dirigé à peu près du N. 20°O. au S. 20° E. sur le méridien de Paris. Les dépôts soulevés à cette époque ne renferment plus que des coquilles exactement semblables à celles de nos mers, comme les tufs ponceux des Champs-Phlégréens, de la Somma et de l'île d'Ischia; mais il y a plus, les dépôts sédimentaires de la Sardaigne, où M. de la Marmora a signalé des débris d'une industrie récente, et que nous avons compris dans les alluvions modernes, § 106, 211, paraissent avoir participé au mouvement, qui dès lors serait d'une époque très récente relativement aux autres.

C'est à cette époque que paraît se rapporter l'apparition de la Somma, du Stromboli, de l'Etna, ainsi que tous les accidents des Champs-Phégréens, qui auraient été démantelés s'ils avaient existé avant la catastrophe des Alpes principales, par laquelle tant de ravages ont été produits dans toutes les directions. Les volcans de l'Auvergne et du Vivarais, qui sont encore si frais, datent peut-être aussi du même moment, et leurs éjections auraient seulement suivi les anciennes fractures des soulèvements précédents, § 234. Il n'en est pas de même des anciens dépôts basaltiques qui de ces contrées s'étendent dans le midi de la France, § 127, 131; tout porte à croire qu'ils se sont formés antérieurement et qu'ils ont été démantelés, morcelés de toutes les manières par la douzième catastrophe.

Ce système de soulèvement, dont on distingue des traces dans la Provence, fig. 350, ·.·.·.·.·., près de Nice, en Sardaigne, en Sicile, dans les Champs-Phlégréens, comme nous l'avons dit, est parallèle au système moderne que MM. Boblaye et Virlet ont signalé à la pointe méridionale de la Morée, et qu'ils ont nommé système du Ténare parce qu'il aboutit au cap de ce nom.

§ 238. — **Extension des systèmes sur tout le globe.** — Puisque dans l'Europe les divers chaînons de même direction, qu'ils se trouvent sur la même ligne ou sur des lignes parallèles, appartiennent à la même époque de soulèvement, § 220, il y a lieu de penser, rien n'indiquant de limites aux phénomènes qui leur ont donné naissance, que les mêmes effets se continuent bien au-delà des contrées dont la structure géologique nous est connue; d'où il suit que partout où nous trouverons parallélisme dans les chaînes, nous

serons conduits à croire qu'il y a aussi contemporanéité de formation. Il est du moins intéressant d'examiner sous ce point de vue les chaînes principales que nous connaissons, et sous ce rapport M. Élie de Beaumont a bien voulu tracer pour nous le résultat de ses recherches, que nous présentons dans la carte ci-jointe, fig. 361, prise sur la projection de l'horizon de Paris par Brué; on y voit les différents systèmes, distingués par des lignes de diverses formes, dans toute l'étendue où ils peuvent être justement soupçonnés.

On voit sur cette carte que la direction des Pyrénées s'étend depuis les Alleghanys, dans l'Amérique septentrionale, jusqu'à la presqu'île de l'Inde, par les Karpathes, une partie du Caucase, les montagnes de la Perse, depuis Érivan jusqu'au golfe Persique, et enfin par les Ghates, qui déterminent la position de la côte du Malabar. Au sud de cette ligne de direction se représentent également plusieurs rides parallèles : celles qui vont du cap Ortegale dans les Asturies au cap Creux en Catalogne; la petite chaîne de Grenade, qui aboutit au cap de Gates; les montagnes qui bordent au nord le désert de Sahara, en coupant la direction de l'Atlas; enfin les Apennins, les Alpes-Juliennes, les montagnes de la Croatie, de la Romélie, et jusqu'à celles de la Morée.

Le système des Ballons, si rapproché de celui des Pyrénées, paraît se présenter aussi dans les Alleghanys; on le remarque sur la côte de Bretagne, et, sans doute, il se retrouvera en plusieurs des groupes que nous venons de citer lorsqu'on les aura étudiés avec assez de soin pour le distinguer du système voisin.

La direction des Alpes occidentales se fait remarquer depuis l'empire de Maroc jusqu'à la Nouvelle-Zemble, en passant par la côte orientale d'Espagne, le midi de la France, le Dauphiné, etc., et une grande partie de la presqu'île scandinave. On la reconnaît encore dans la Cordillière du Brésil, depuis le cap Roque jusqu'à Monte-Video. Parallèlement à cette direction, on reconnaît le même système dans la régence de Tunis, dans la Sicile, dans la pointe de l'Italie et dans l'Asie-Mineure. Tout le littoral de l'ancien continent, depuis le cap Nord de la Laponie jusqu'au cap Blanc d'Afrique, est parallèle à la direction de ce système.

Les Alpes principales font partie d'un système de direction extrêmement étendu. Depuis les chaînes de l'Espagne et celles de l'Atlas, à la partie septentrionale de l'Afrique, on retrouve des chaînes parallèles qui se continuent jusqu'à la mer de la Chine. C'est sur cette direction qu'on trouve, en sortant de la Sicile et de l'Italie, les chaînes de l'Olympe en Grèce, le Balkan, le Taurus, la chaîne centrale du Caucase, couronnée par l'Elbrouz, entre la mer

Fig. 361. *Orientation des principales chaînes de montagnes.*

Noire et la mer Caspienne, la longue série de montagnes qui s'étend à travers la Perse et le Kaboul, comprenant le Paropamisus, l'Hindoukoh, etc.; enfin l'Himalaya, où se trouvent les plus hautes montagnes du monde.

On ne peut pas citer aujourd'hui les autres systèmes sur de telles étendues, et néanmoins on reconnaît la direction du système de Corse dans les chaînes de la Syrie et de la Palestine, au fond de la Méditerranée; le système du mont Viso dans la chaîne du Pinde en Grèce, et le système du Thuringerwald dans les montagnes de l'Attique et de l'île de Négrepont.

ÉTATS DE L'EUROPE AUX DIVERSES ÉPOQUES DE FORMATION.

§ 239. **Observations générales.** — Tous les détails précédents nous conduisent nécessairement à voir que la surface du globe, tant de fois bouleversée, a dû présenter de très grandes variations dans l'étendue relative des terres et des mers, et passer successivement par bien des configurations pour arriver à l'état actuel. Mais, pour l'Europe même, la seule partie du monde sur laquelle on ait des renseignements positifs, il est bien difficile de dire quel a pu être cet état aux époques les plus anciennes. La raison en est qu'ayant pendant longtemps confondu sous le nom de terrain de transition des dépôts d'époques bien différentes, on n'a pu encore tracer nettement partout les limites des diverses formations qui y ont été comprises. On ne sait pas non plus, et c'est là un grand obstacle au tracé des continents dans l'ancien monde, quelles sont les parties qui ont pu s'affaisser successivement à chaque catastrophe, et dont nous ne pouvons plus connaître l'étendue que par induction. Ce n'est qu'après l'apparition des terrains jurassiques dont les limites sont si nettement tranchées que nous pouvons reconnaître avec précision les contours et l'étendue des terres au milieu des mers où ces dépôts se formaient. Toutefois il existe avant cette époque bien des données qui peuvent conduire à des idées générales dont nous allons faire successivement l'exposé.

Avant tout, nous observerons que par l'expression *époque de tel terrain*, nous entendons l'espace de temps pendant lequel ce terrain se formait sous les mers, autour des dépôts soulevés de l'époque précédente. Ainsi l'expression *époque jurassique*, par exemple, indique le temps pendant lequel se formaient les dépôts du Jura dans les mers où se dessinaient les dépôts soulevés du trias et de tout ce qui l'avait précédé. Nous dirons souvent dans le même sens *mer de telle époque*, comme *mer jurassique*, *mer crétacée*, etc.

§ 240. **Époque silurienne et devonienne.** — Au moment ou les terrains siluriens et devoniens se formaient sous les mers, il y avait évidemment en Europe différentes terres découvertes, qui résultaient tant du soulèvement du Hundruck, § 225, qui a relevé les terrains cambriens, que des catastrophes antérieures; nous en voyons, en effet, d'assez étendues qui ont échappé aux dépôts de cette époque, et qui, par conséquent, s'élevaient hors des eaux où ils s'effectuaient. En France il existait au moins une île de terrain cambrien vers le golfe de Saint-Malo, tant en Bretagne qu'en Normandie; le plateau granitique qui comprend le Limousin, l'Auvergne, etc., où le soulèvement du Hundsruck se manifeste par la direction de certaines couches de gneiss redressées, et par les anfractuosités où se sont déposés plus tard les terrains houillers, (voyez fig. 362), devait déjà se trouver au-dessus des eaux, et se liait peut-être au sud avec le groupe ancien qui préludait aux Pyrénées. Les montagnes des Maures devaient exister également, et peut-être une partie des terrains compris entre Toulon et Inspruck, sur la direction sud-ouest à nord-est. Quelques parties du centre des Vosges et de la Forêt-Noire, l'Eiffel, le Hundsruck, où le premier soulèvement est si clairement indiqué, les Ardennes, étaient nécessairement au-dessus des eaux, ainsi que le pays de Nassau, le Harz, tout le centre de l'Allemagne, comprenant la Saxe, la Bohême et la Moravie. Il en était de même de la Scandinavie, et aussi d'une partie des Iles Britanniques, comme on le voit, sur la carte de l'époque carbonifère fig. 362, par la direction suivant laquelle se trouvent alignées toutes les terres qui existaient alors dans cette contrée.

Dès ce moment déjà les terres ont dû présenter une végétation de fougères arborescentes, d'équisétacées, etc., fig. 204 à 216, assez abondante pour former les amas d'anthracite qu'on trouve dans les terrains devoniens, § 158. Les mers étaient peuplées, fig. 165 à 167, 182 à 196, de trilobites, d'orthocères, d'orthis, de productus, de diverses sortes de térébratules et de plusieurs espèces de polypiers du genre même de ceux qu'on trouve dans les recifs madréporiques, qui par conséquent annoncent, aussi bien que les fougères en arbres, un climat analogue à celui qu'on n'observe plus qu'entre les tropiques, § 87, 95. Toutes ces circonstances nous montrent clairement qu'à cette époque la chaleur n'était pas distribuée comme aujourd'hui sur le globe. Sans doute l'accroissement de température de la surface à l'intérieur était plus rapide; toutes les sources étaient alors thermales, et les brouillards qui en résultaient, empêchant le rayonnement en l'absence du soleil, tempé-

raient partout la rigueur des hivers, accroissant par conséquent la moyenne des saisons, § 96.

§ 241. **Époque houillère.** — Le système de soulèvement des Ballons, en poussant au jour les dépôts siluriens et devoniens, est venu sans doute augmenter l'étendue des terres et changer plus ou moins leur configuration. La végétation dut alors se développer d'une manière prodigieuse, et sur de vastes surfaces; ce que montrent à la fois et la masse énorme de combustible formée, et la manière dont les dépôts sont éparpillés, § 164. D'un côté, le calcaire carbonifère, et les diverses couches marines qu'on trouve au milieu même du grès houiller, semblent indiquer d'abord une mer profonde, et peut-être ensuite un immense marais maritime, qui s'étendait des Ardennes et du Harz aux montagnes anciennes des Iles Britanniques. D'un autre côté, les divers bassins houillers que nous connaissons à la surface de la France, et dans l'Allemagne centrale, nous montrent clairement qu'il existait alors de grandes terres sur lesquelles se trouvaient çà et là des marais où se sont formés, comme maintenant dans nos tourbières, tous les dépôts de combustibles de cette époque que nous avons découverts. M. Élie de Beaumont, rassemblant toutes les données qu'on possède aujourd'hui, a tracé les positions relatives de cette mer et des terres évidemment émergées, avec leurs nombreux marais houillers, dans la carte, fig. 362, qu'il a bien voulu nous donner.

On voit d'abord sur cette carte des îles et des rivages dirigés suivant le système du Hundsruck, et d'autres qui suivent la direction du système des Ballons, § 222. On reconnaît la position de la mer où s'est formé d'abord le calcaire carbonifère, puis le dépôt houiller proprement dit. Au milieu s'élevait une grande île dont les limites ne peuvent être tracées exactement, mais dont la direction résulte de celle du système des Ballons, aussi bien que les rivages qui se présentent vers Corke, Bristol et la pointe des Ardennes. Au sud de cette île on connaît des dépôts houillers marins, de Liége à Boulogne, et de Bristol au centre de l'Irlande. Au nord se présentent les dépôts carbonifères qui s'étendent de Derby à Liverpool, et se lient avec ceux du nord de l'Angleterre, de l'Écosse et de l'Irlande, au milieu desquels s'élèvent divers groupes de terrains anciens qui formaient dans cette mer autant d'îles dirigées dans le système du Hundsruck, direction qu'on reconnaît encore dans la masse de terrains situés entre Cologne et Francfort. Il se trouvait sans doute aussi quelques marais vers Leicester, Coventry, Birmingham, dont les dépôts, isolés des autres, offrent des caractères particuliers. On ne sait pas jusqu'où la mer carbonifère s'étendait vers le nord, mais quelques dépôts houillers du Hanovre indiquent qu'elle allait au moins à cette hauteur.

Fig. 362. *Mer et lacs de la période carbonifère.*

Au sud de Bristol, les terrains anciens du Devonshire et du Cornouailles offrent une autre île, où le commencement d'une grande terre, qui peut-être limitait la mer carbonifère, dans une direction parallèle au système des Ballons, en se liant peut-être aux Ardennes qui se trouvent à l'est et au continent dont nous avons maintenant à parler.

Les terrains anciens, et découverts, qui constituent la Bretagne

et le plateau central de la France, indiquent évidemment une grande terre, sur laquelle se trouvaient les lacs de Bayeux, de Quimper, de Laval, de Vouvant, placés peut-être dans les anfractuosités déterminées par le système des Ballons ; puis ceux de la Bourgogne, du Limousin, de l'Auvergne, du Forez, etc., situés sur des directions parallèles au système du Hundsruck. Cette terre, dont on ne peut fixer les limites, s'étendait au moins en une presqu'île vers Strasbourg.

A l'est de cette terre, et peut-être réunie avec elle, il s'en trouvait une autre qui était évidemment découverte, car il ne s'y est rien déposé des formations pénéennes. Celle-ci s'étendait probablement sur l'emplacement où se trouvent Inspruck, Milan, Briançon, Gênes, Nice, Toulon, et jusqu'à l'île de Corse. Vers Toulon se trouvaient les marais où se sont formés les houilles que nous rencontrons aujourd'hui dans cette partie de la France.

Il existait évidemment aussi des terres sur les emplacements où se trouvent aujourd'hui la Bohême et la Saxe, et elles offraient plusieurs lacs houillers à leur surface ; les dépôts houillers de la Moravie et de la Galicie semblent même annoncer leur extension vers ces contrées. Une île au moins se présentait entre Cologne et Francfort, offrant dans sa partie méridionale le grand bassin houiller du pays de Trèves et se liant au nord avec les terrains anciens du Harz. Une grande terre se présentait aussi dans la presqu'île scandinave, où il ne s'est rien déposé depuis les terrains siluriens ; mais il semble qu'elle était stérile et privée de marécages, car elle n'offre aucune trace de houille.

Nous ignorons complétement ce qui pouvait exister là où se trouvent aujourd'hui nos grandes cités ; mais l'absence remarquable du calcaire carbonifère, dépôt éminemment marin, § 160, hors de la Belgique et de l'Angleterre, peut conduire à penser qu'une grande partie de l'Europe occidentale était alors à découvert, et présentait peut-être aussi des lacs houillers, que des catastrophes subséquentes auront ensevelis sous les mers.

Une partie des terres dont nous venons de parler sont restées constamment à découvert jusqu'à nos jours, ou même ont été soulevées de plus en plus par les diverses catastrophes subséquentes, comme la Bretagne et le plateau central de la France. Dans d'autres lieux, au contraire, il est évident que ces terres anciennes se sont affaissées à diverses époques pour se recouvrir de dépôts plus modernes, à travers lesquels on va chercher aujourd'hui le combustible à la profondeur, comme à Anzin sous la craie, dans les Vosges sous le grès rouge, dans les Cévennes sous le calcaire jurassique, etc.,

et, en général, sur les bords de ces nouvelles formations remises à découvert par les catastrophes suivantes. Il en est sans doute d'enfouis profondément, et à jamais perdus pour nous, soit sous les sédiments divers, soit sous les eaux, comme à Whithaven en Angleterre, où l'exploitation s'étend à plus d'un quart de lieue du rivage et à 100 mètres au-dessous du fond de la mer.

§ 242. **Corps organisés de l'époque.** — La végétation de cette époque, favorisée sans doute par la forme insulaire des terres, comme aujourd'hui dans toutes les îles, se composait de lycopodiacées, d'équisétacées, de fougères, etc., d'espèces arborescentes, dont les analogues ne se trouvent plus que sous les tropiques, avec des conifères voisins des Araucaria, § 161. Ce sont leurs débris accumulés qui ont formé la masse du combustible, avec les cryptogames cellulaires qui croissaient alors sous les eaux comme aujourd'hui dans nos marais tourbeux, et sous une température plus favorable encore à leur développement, § 96.

Les mers de cette époque avaient perdu les trilobites, mais elles renfermaient une grande abondance de spirifères et de productus, des orthocères d'espèces particulières, divers céphalopodes analogues aux nautiles, aux argonautes, et diverses autres coquilles, fig. 197 à 203. Les encrinites s'y multipliaient de manière à produire ces nombreux débris qui constituent presque à eux seuls certaines variétés des marbres de Flandre et de Belgique. Les poissons sauroïdes de grande dimension, et surtout d'une organisation vigoureuse, se présentaient alors; et la famille des suuales, encore faible, nous offrait les cestracions et les hydodons, § 162.

Les eaux douces qui alimentaient les marais houillers renfermaient, à ce qu'il paraît, peu de mollusques conchyfères, car on en trouve rarement des débris, qui paraissent se rapprocher des anodontes et des mulettes. Les poissons étaient dans quelques localités assez nombreux; ils appartenaient aux genres paleoniscus et amblypterus, vivant sans doute dans les ruisseaux qui serpentaient au fond des fractures abruptes des terrains anciens.

§ 243. **Époque pénéenne.** — Le bouleversement causé par le soulèvement du nord de l'Angleterre paraît avoir bien plus influé sur la surface des terres alors découvertes que sur leur étendue et leurs contours : seulement, le fond de la mer où se sont formées les houillères de l'Angleterre et de la Belgique a dû être soulevé en partie pour échapper, comme toute la France, à la formation pénéenne. D'un autre côté, au contraire, un petit coin de la partie sud-ouest des Vosges a dû s'affaisser sous les eaux, pour recevoir les grès rouges qui y recouvrent le terrain houiller. Plus loin, dans

le Mansfeld, la présence du terrain pénéen, qui s'est développé sur une grande échelle, avec ses calcaires coquilliers, nous annonce la submersion de cette contrée sous les eaux marines. C'est aussi sous les mers que s'est alors déposé, dans le comté d'York, le *magnesian limestone*, qui y représente toute la formation de cette époque.

A ce moment, on ne sait trop ce que pouvait être la flore terrestre, car on ne trouve guère que des algues dans les schistes bitumineux du Mansfeld et quelques troncs silicifiés de conifères dans les grès. Les dépôts de houille ont cessé tout-à-coup de se former, et il semble dès lors qu'il n'existait ni flaques d'eau ni ruisseaux sur les terres; cependant il y avait encore divers poissons du genre paleoniscus, qui peut-être vivaient aussi bien dans les eaux marines que dans les eaux douces. La terre était habitée pour la première fois par des reptiles sauriens, voisins des iguanes et des monitors, dont les restes se trouvent dans les schistes cuivreux. Les mers sous lesquelles tous ces dépôts se sont formés renfermaient les mêmes genres, souvent les mêmes espèces de mollusques et de radiaires que celles où s'étaient formés les dépôts carbonifères, § 165.

§ 244. **Époque vosgienne.** — Le sytème de Hainaut, en disloquant le terrain houiller et ridant la surface des terres, a également peu influé sur leurs contours. Il est arrivé seulement que dans les Vosges quelques uns des points où le grès rouge s'était déposé se sont relevés, autour de Saint-Dié, Schelestadt, Montbelliard, et par là ont échappé aux formations suivantes: tandis que tout le reste de la chaîne qui avait échappé aux dépôts du grès rouge, et par conséquent se trouvait élevé à cette époque, a dû maintenant s'affaisser pour recevoir le grès vosgien : il en a été de même de part et d'autre de la Forêt-Noire.

Les choses ont été telles dans cette modification qu'il n'a pu vivre d'animaux dans cette partie de la terre, et que les végétaux, s'il en existait alors sur le sol environnant, n'ont pu être charriés sous les eaux qu'en très petit nombre.

§ 245. **Époque du trias.** — Après le système du Rhin, à la suite duquel le grès vosgien s'est trouvé soulevé, les Vosges et la Forêt-Noire ont un peu changé de contours; mais les autres terres en Europe n'ont presque subi aucune modification. Nous observons seulement une surélévation du plateau central de la France par les granites porphyroïdes de la Lozère, par les monticules qui ont aligné des lambeaux de terrains houillers depuis Moulins jusqu'à Mauriac, § 164. D'un autre côté il s'est fait quelques affaissements dans le Bourbonnais et le Rouergue, ainsi que dans les terres qui se trouvaient entre Toulon et Nice, peut-être même dans une grande

partie de celles qui s'y rattachaient. La végétation a subi alors de grandes modifications : les fougères et les équisétacées de haute taille avaient considérablement diminué, et les conifères, au contraire, étaient devenus plus nombreux : des plantes analogues aux zamia et peut-être aux cycas, fig. 363 et 364, formaient alors une partie importante de la flore de l'Europe, préludant au développement immense qu'elles prirent à l'époque suivante.

Fig. 363. *Zamia pungens.*

Fig 364. *Cycas revoluta.*

Il se présente à cette époque de nouveaux sauriens, et l'on reconnaît des traces d'oiseaux qui n'avaient pas encore paru dans les époques précédentes. C'était alors qu'existaient ces êtres, quels qu'ils soient, dont nous trouvons aussi les empreintes sur les dépôts de grès bigarré fraîchement sortis des eaux, § 109, 170. M. Owen, qui les considère comme d'énormes batraciens, en a imaginé, d'après ses observations, la restauration suivante, fig. 365.

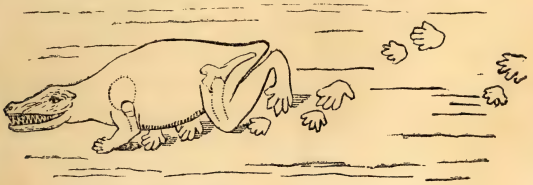


Fig. 365. *Labyrinthodon pachygnatus* (Owen).

§ 246. **Époque jurassique.** — Lors du soulèvement du Thuringerwald, le terrain triasique qui venait de se former sous les mers a été soulevé dans divers points; il s'est alors accolé quelques lambeaux de grès bigarré autour du plateau central de la France, fig. 362, entre Moulins et la Châtre, entre Brives et Tulle, aux environs de Rodez, de Sainte-Affrique et de Lodève. L'île du Var s'est accrue de ces grès et du calcaire conchylien; les Vosges et la Forêt-Noire se sont aussi considérablement augmentées, d'une part à l'ouest, dans la Lorraine, de l'autre à l'est, se prolongeant en Allemagne et liant diverses îles jusqu'alors séparées. Il en a été de même des îlots qui marquaient l'emplacement des Iles Britanniques et qui furent alors réunis en une terre continue par les dépôts triasiques soulevés entre eux, et sans doute avec eux. Mais en même temps que de nouvelles terres étaient mises à découvert, il se faisait de grands affaissements dans celles qui existaient auparavant. La terre qui s'étendait de Cherbourg à Perpignan fut alors coupée vers Poitiers, en formant un détroit où s'étendent aujourd'hui les dépôts jurassiques; elle fut morcelée de diverses manières sur ses bords, et presque coupée de nouveau vers Rodez. Celle qui s'étendait de Nice vers Inspruck s'est complétement enfoncée pour recevoir la nouvelle formation qui l'a recouverte. S'il existait peut-être à l'époque houillère quelques portions de terre là où se trouvent Paris, Londres, etc., § 241, tout conduit à penser qu'elles ont alors disparu, car le terrain jurassique paraît se prolonger partout au-dessous du sol actuel.

Toutes ces données sur l'état de l'Europe occidentale à l'époque qui nous occupe sont fournies par la présence et la disposition des dépôts jurassiques. Développés sur une vaste échelle, et soulevés plus tard du sein des eaux, ils nous montrent clairement quelle était alors la configuration des terres autour desquelles ils se formaient sous les mers. C'est en étudiant les limites inférieures de ces formations que M. de Beaumont est parvenu à tracer la carte, fig. 366, beaucoup plus arrêtée que celle de l'époque houillère.

On remarque immédiatement, sur cette carte, la rupture que nous avons indiquée vers Poitiers, le golfe profond qui s'est formé vers Rodez, les morcellements qui limitent le plateau central, et la disparition complète du terrain compris entre Nice et Inspruck. On voit également comment l'île qui renfermait la Saxe et la Bohême se trouve liée avec celles qui s'étendaient entre Francfort et Cologne, entre Liége et Boulogne, enfin on voit la réunion de tous les îlots qui marquaient précédemment la place de la Grande-Bretagne. Un rivage, nettement limité, s'étendait alors de Dunkerque à Trèves;

et, tournant deux grandes presqu'îles, qui renfermaient les Vosges et la Forêt-Noire, gagnait Ratisbonne, Vienne et Cracovie, où un détroit conduisait au nord ; un autre rivage allait de la hauteur de Poitiers, par Angers, Cherbourg et Liverpool, jusqu'au-delà d'É-

Fig. 366. *Mer jurassique.*

Configuration et étendue relative des terres et des mers dans l'Europe occidentale pendant le dépôt du terrain jurassique.

dimbourg. Autun se trouvait près de la mer, et l'emplacement de Lyon alors submergé était près de la côte, aussi bien que celui de Perpignan. Les montagnes des Maures et de l'Esterel, qui restaient de la grande terre, n'offraient plus qu'un îlot entre Toulon et Nice, et la Corse sans doute en formait un autre. Les terres scandinaves seules n'avaient subi aucun changement.

§ 247. **Corps organisés de l'époque jurassique.** — L'Océan de cette époque avait aussi ses caractères particuliers. Il était habité par les sauriens éminemment nageurs, ichthyosaures et plésiosaures, § 175, dont les pattes, en forme de rames, rappellent celles de nos chéloniens marins actuels ; ces animaux voraces, tout aquatiques, avaient remplacé les poissons sauroïdes du groupe carbonifère qui maintenant avaient disparu. Ce fut à la même époque que vécurent ces sauriens volants, ptérodactyles, qui peuplaient les airs, et qui complètent la série des êtres si singuliers d'une ancienne création, aujourd'hui entièrement anéantie, dont M. Buckland, partant du squelette, a essayé de peindre la figure extérieure, fig. 367.

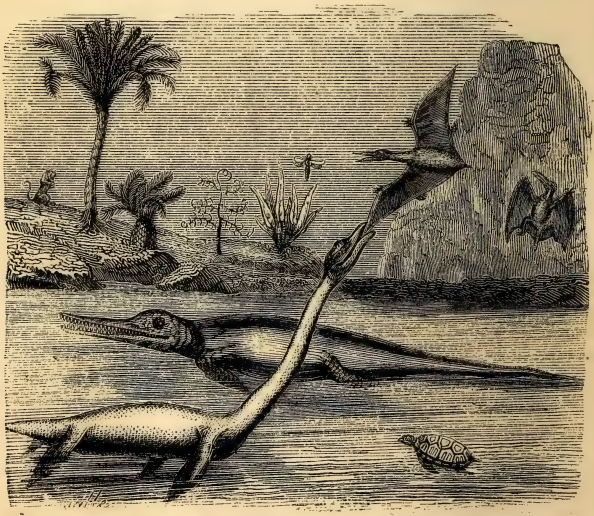


Fig. 367. *Restauration des sauriens de l'époque jurassique.*

Ces mers avaient perdu les productus, et les spirifères avaient presque disparu. Les nombreuses térébratules qui vivaient à cette

époque appartenaient à des espèces différentes de celles qu'on avait vues dans les mers précédentes; mais alors il s'y trouvait un très grand nombre de mollusques céphalopodes à coquilles cloisonnées, que nous nommons, en général, ammonites, dont la race, encore peu développée, avait commencé à paraître dans les mers du trias ; il existait des calmars à bélemnites, fig. 368, dont les dépouilles, jusqu'alors inconnues, sont si nombreuses depuis le lias jusqu'à la craie ; enfin la gryphée arquée y pullula pendant un moment pour disparaître ensuite lorsque le lias fut formé, et faire place à d'autres espèces, § 174, 180 à 184.

Fig. 368. *Calmar à bélemnites.*

Il se formait dans ces mers, comme aujourd'hui dans les nôtres, des rescifs de corail, dont le groupe coralien, page 216, nous offre maintenant les débris, et qui annoncent dans nos contrées une température moyenne analogue alors à celle des mers intertropicales.

Sur les terres, des lacs d'eau douce nourrissaient sans doute des paludines, et des cours d'eau entraînaient les hélices dont le groupe portlandien, page 218, nous offre aujourd'hui les dépouilles.

Il devait exister aussi sur le sol plusieurs espèces d'insectes qui servaient de nourriture aux ptérodactyles, et dont les débris semblent annoncer des coléoptères et des névroptères voisins des buprestes et des libellules. Il s'y trouvait aussi de ces petits mammifères marsupiaux analogues à nos sarigues, dont les couches de Stonesfield nous ont offert le squelette, § 181. Mais ces êtres semblent avoir été en petit nombre, si l'on s'en rapporte au peu de débris qu'on en a encore rencontrés, et il ne se trouvait avec eux aucun des grands animaux d'un ordre plus élevé qui caractérisent si bien l'époque parisienne.

La flore n'était plus celle qui a fourni tant de débris au terrain houiller; les lypocodiacées, les fougères gigantesques avaient disparu, et il semble que beaucoup d'espèces nouvelles avaient été créées depuis les époques pénéennes et triasiques. C'étaient alors les cycadées et les conifères, § 181 184, qui l'emportaient considérablement sur toutes les autres familles ; et probablement il se trouvait déjà quelques palmiers dont on rencontre les fruits dans le lias : aussi les combustibles charbonneux qui se sont formés à l'époque qui nous occupe sont-ils fort différents de ceux que nous trouvons dans la grande formation houillère. Ils sont en même

temps beaucoup moins abondants, ce qui annonce une grande différence dans l'étendue des terres.

§ 248. **Époque crétacée.** — Après le système de soulèvement de la Côte-d'Or, qui a relevé une partie des dépôts jurassiques au-dessus des mers, la forme et la disposition des continents ont considérablement changé. Les limites inférieures des terrains crétacés marquent les contours des terres qui existaient alors, et déterminent l'étendue des mers de l'époque; c'est en les recherchant que M. de Beaumont a également tracé la carte suivante, fig. 369.

Les trois îles de l'époque précédente étaient maintenant réunies, mais non sans quelque changement dans leurs contours. Bruxelles, qui était au milieu des terres, se trouve maintenant sur la côte; Arras, Dunkerque, Maestricht, Wesel, Breslaw, Vienne, sont affaissées sous les eaux. Un lac s'est formé entre Dresde, Brunn et Prague; un détroit se trouve à la place de Perpignan et de Carcassonne; et ce qui existait précédemment des Pyrénées se trouve en partie submergé.

Par compensation, les Vosges, battues par la mer aux siècles précédents, se trouvèrent alors au milieu du continent qui joignit l'île centrale de la France. L'espace de mer qui les séparait fut comblé. Langres, Nevers, Lyon, Toulouse, Oxford, se trouvèrent en terre ferme, et un isthme se forma vers Poitiers pour lier aussi la grande île qui se trouvait à l'ouest. Un rivage s'étendit des environs de Cracovie jusque vers Perpignan, par Ratisbonne, dont la position ne fut pas changée, Zurich et Lyon. Un immense golfe se forma entre Bruxelles et Oxford, s'enfonçant jusqu'à Poitiers.

Il s'est formé, entre Salzbourg et Avignon, une nouvelle île qui marque l'emplacement futur des Alpes : déjà Briançon, Turin, Trente, Inspruck pouvaient y avoir place; mais la Suisse était alors un canal qui séparait cette île de la terre ferme. L'île de Toulon s'est maintenant limitée, et quelques petites îles marquent les environs de Marseille.

Peu de chose cependant avait changé dans les êtres vivants. En même temps qu'il se trouvait diverses espèces de fougères, végétaient sur le sol les cycadées, et surtout les conifères qui devenaient de plus en plus abondantes et donnaient lieu aux amas de lignites qu'on trouve dans les terrains crétacés, § 187; mais il y avait peu de mammifères terrestres, car on n'en observe aucun débris dans les terrains de craie, quoiqu'on en ait déjà rencontré dans les dépôts jurassiques. Il existait cependant divers cétacés, lamentins et dauphins, dont quelques uns ont apparu déjà dans les mers jurassiques. Les reptiles divers étaient encore, parmi les animaux capables de vivre sur la terre, les êtres les plus élevés de la création. Les espèces aquatiques et terrestres étaient très nombreuses;

parmi elles se distinguaient l'iguanodon, saurien gigantesque de 20 mètres de long, le mégalosaure et divers crocodiles. Les tortues fluviatiles, les poissons et les mollusques d'eau douce vivaient

Fig. 369. *Mer crétacée.*

Configuration et étendue relative des terres et des mers dans l'Europe occidentale pendant le dépôt du terrain crétacé inférieur.

sur les bords des lacs ou dans leurs eaux. Les mers nourrissaient des baculites et des turrilites, fig. 291, 292, dont rien n'indique l'existence antérieure, et qui, vers la fin de l'époque, finissent par disparaître, en même temps que tous les mollusques à coquilles cloisonnées persillées. C'est là que se montraient les vraies squales, qui se sont ensuite maintenus jusqu'à nos jours, quoique actuellement leurs dimensions soient considérablement diminuées.

§ 249. **Époque du terrain parisien.** — Le soulèvement du mont Viso, et plus tard celui qui a donné naissance aux Pyrénées, aux Apennins et à toutes les chaînes parallèles que nous avons citées, § 232, 233 à 238, ont prodigieusement changé la constitution géographique précédemment établie. Le dernier surtout a produit une des plus grandes convulsions que l'Europe ait éprouvées : tout en a été ébranlé, et la plus grande partie de ce qui était alors sous les eaux s'est trouvé poussé au dehors pour former un immense continent. C'est ce que prouve le peu d'extension des sédiments parisiens qui se trouvent concentrés, fig. 370, d'une part, dans la Belgique, l'Artois, la Picardie, l'Ile-de-France, la Normandie et les côtes opposées de l'Angleterre; et, de l'autre, aux environs de Bordeaux : à peine en trouve-t-on quelques traces certaines ailleurs. De là il résulte que les mers de cette formation pénétraient fort peu dans ce continent, quoiqu'elles couvrissent encore les deux capitales du monde; il ne restait du vaste Océan des siècles précédents qu'une partie du golfe jadis limité vers Cambridge, Oxford, Exeter, Cherbourg, Angers, Poitiers, qui se trouva alors rétréci en plusieurs points, et augmenté ailleurs aux dépens de l'ancienne presqu'île de Bruxelles; il communiquait probablement avec quelque reste des mers du Nord. Au milieu se trouvaient deux îles crétacées, les Wealds de l'Angleterre, § 187, et le pays de Bray en France. Une autre portion du golfe restait aussi entre Bordeaux et Dax. On voit ces détails dans la carte, fig. 370, publiée, il y a quelques années, par M. Élie de Beaumont, dont nous avons supprimé les terrains du Vicentin, qui se rattachent à la craie, § 191, et que la présence des nummulites et des cérites avait fait confondre avec le terrain parisien.

La faune de la terre était très différente, lors de la formation parisienne, de ce qu'elle avait été aux époques précédentes. Les sauriens gigantesques avaient disparu, mais il restait les grands crocodiles des eaux douces, des chéloniens marins et lacustres; et la terre enfin était peuplée de mammifères, § 194. Ceux-ci étaient alors les pachydermes analogues aux tapirs, comme les anoplotherium et paleotherium, qui devaient avoir à peu près les formes, fig. 371, et qui vivaient en même temps que quelques car-

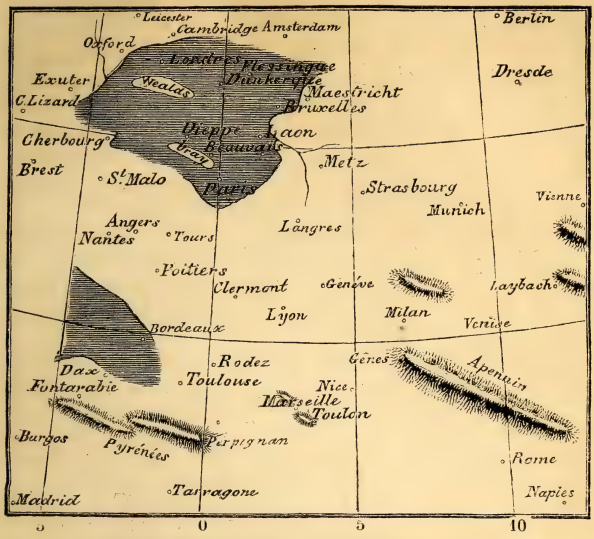


Fig. 370. *Mer parisienne dans l'Europe occidentale.*

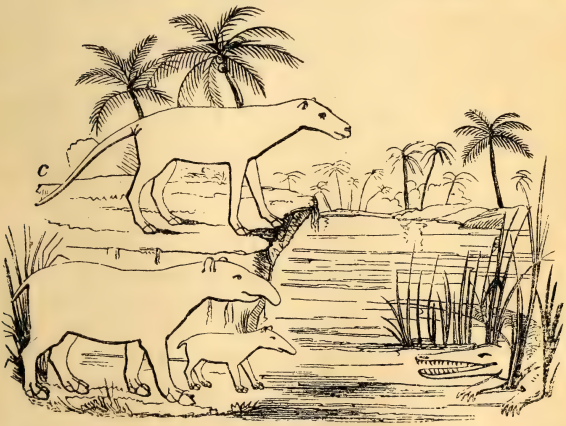


Fig. 371. *Faune de l'époque du terrain parisien*

a Paleotherium magnum.
b Paleotherium minus.
c Anoplotherium commune.
d Crocodile.

nassiers du genre chien, etc. Dans les mers, les bélemnites et toutes les coquilles cloisonnées persillées avaient disparu; les nautiles seuls étaient restés, et ils vivaient alors avec le cerithium giganteum qui avait commencé à la fin de l'époque crétacée, § 191, pour disparaître au milieu de l'époque suivante; il existait aussi beaucoup de mollusques plus ou moins rapprochés de ceux des mers actuelles, § 193.

A cet âge de notre planète, la flore de l'Europe s'était encore modifiée; les cycadées avaient disparu, et les conifères, présentant encore de nouvelles espèces, auxquelles s'étaient jointes des dicotylédones, se trouvaient avec des palmiers jusqu'au centre de l'Europe. Ces derniers, repoussés aujourd'hui jusqu'en Afrique, annoncent évidemment une température moyenne plus élevée que celle dont nous jouissons, et qui a dû être alors d'environ 22°, comme maintenant dans la Basse-Égypte. C'est une circonstance qu'on peut encore attribuer à ce que l'accroissement de la chaleur intérieure était plus grand qu'à présent, et que les brouillards résultant des sources thermales, en diminuant le rayonnement, rendaient nos hivers moins rigoureux, § 96.

Des cours d'eau existaient nécessairement sur le continent, et c'est par là qu'on peut expliquer les dépôts de lignites, les débris de mollusques d'eau douce qu'on trouve par place au milieu des dépôts marins. On est conduit surtout à supposer un de ces cours d'eau débouchant vers Laon et amenant les dépôts lacustres du Soissonnais, et un autre quelque part, entre Exeter et Oxford, qui formait au sud-ouest des Wealds les dépôts de l'île de Wight. Autour de Paris, les eaux du golfe étaient adoucies sur les bords par de nombreuses sources thermales qui donnaient naissance au calcaire siliceux, au milieu duquel se formaient la meulière sans coquilles et le gypse, § 194.

§ 250. **Époque de la molasse.** — C'est après le système de Corse que la molasse s'est formée, et cela de telle manière qu'elle s'est généralement déposée, § 198 à 202, 234, là où le calcaire parisien avait totalement manqué. Il en résulte que les terres élevées alors au-dessus des eaux ont dû s'affaisser, souvent très profondément, pour recevoir cette nouvelle formation, qui est quelquefois d'une grande épaisseur; par conséquent, il se fit encore de très grandes modifications sur le continent de l'époque précédente. Il dut se faire des affaissements partiels dans plusieurs parties de la Touraine, de la Guienne, de la Gascogne, du Languedoc, de la Provence, du Dauphiné, et dans toute la Suisse, etc.; il s'y forma des lacs souvent très étendus, tantôt isolés, tantôt communiquant avec la mer; et

c'est ce que nous indiquent les dépôts contemporains, qui sont, les uns fluviatiles, les autres marins. Par opposition il se fit dans le même moment, en plusieurs parties du golfe du Nord, en Belgique, en Picardie, dans l'Ile-de-France, sur toute la côte d'Angleterre, des soulèvements plus ou moins considérables. Le calcaire grossier mis à nu échappa dans toute cette étendue aux dépôts suivants, et les emplacements de Londres et de Paris furent peut-être mis au jour, quoique entourés d'eau où se déposait tout ce qui se rapporte au terrain de molasse; il en fut de même dans le golfe de Bordeaux, où toute la partie nord du terrain parisien fut soulevée et échappa au dépôt de molasse qu'on trouve dans tout le reste du bassin actuel, qui fut dès lors submergé.

Cette époque fut accompagnée d'un nouveau changement dans les êtres qui vivaient à la surface du sol; dès ce moment, outre quelques espèces nouvelles de paleotherium, parurent en Europe les *mastodontes* et le *dinotherium giganteum*, § 199, qui devait avoir à peu près la forme fig. 372, ainsi que les rhinocéros, les hippopotames, les singes, et plusieurs rongeurs, comme castors, écureuils, etc. La flore était composée principalement de conifères, avec des dicotylédones qui cependant n'avaient sans doute pas encore le développement qu'elles acquirent à l'époque suivante. Il existait encore des palmiers dont on trouve les débris dans les dépôts de lignite, et particulièrement dans ceux de Liblar, près de Cologne, ainsi que dans les plâtrières d'Aix.

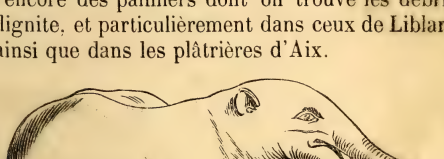


Fig. 372. *Restauration du dinotherium giganteum.*

§ 251. **Époque subapennine.** — Le soulèvement des Alpes occidentales fit un nouveau bouleversement. Non seulement le sol compris entre Constance et Marseille, rendu montueux par les événements précédents, a pris tout-à-coup une hauteur considérable et une grande partie du relief qu'il présente aujourd'hui, mais encore le mouvement s'est étendu sur toute l'Europe. La plus

grande partie du golfe anglo-français fut comblée par un exhaussement qui mit au jour tout ce qui se rapportait à la molasse. Il en fut de même dans la Guienne, dans le Languedoc, dans la Provence, dans le Piémont, dans la Suisse, et les contours des mers furent encore une fois changés. Mais en même temps, sur le continent, se formèrent de grands lacs : l'un, depuis Dijon jusqu'auprès de l'Isère ; un autre, dans la partie sud de l'Alsace ; enfin, un troisième en Provence, de Sisteron jusqu'à la Durance.

C'est alors qu'apparurent tous les carnivores des genres ursus, hyena, felis, canis, etc., qui habitaient les cavernes, dont il ne se trouve pas de débris dans le terrain parisien, et dont les espèces ont disparu, non seulement de notre continent, mais de la surface du globe, à l'époque suivante. Il se montra encore plusieurs nouveaux rongeurs, des chevaux, des ruminants et probablement aussi ce gigantesque édenté à démarche lente et lourde, le megatherium, § 206, dont la tête et toute l'allure devaient offrir quelque chose d'un peu ressemblant aux paresseux, fig. 373, quoique la taille fût celle des plus grands rhinocéros, et dont le corps devait être couvert d'une cuirasse osseuse comme les tatous, de la même famille, fig. 374.

Fig. 373. *Paresseux à trois doigts.*

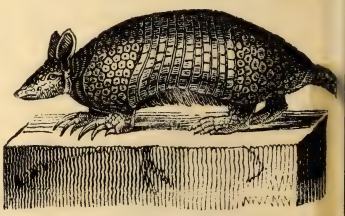


Fig. 374. *Tatou cabassou.*

§ 252. **Époque du diluvium.** — C'est à ce moment que l'Europe a pris sa forme actuelle, et que son relief a été définitivement arrêté. Le soulèvement des Alpes principales, en formant toutes les chaînes qui s'étendent jusqu'en Autriche, en élevant sans doute encore quelques parties des Alpes occidentales, a également exhaussé le sol dans une grande partie de l'Europe, et surtout a déterminé le partage des eaux entre l'Océan et la Méditerranée.

Les effets produits nous montrent que d'énormes courants d'eau se sont alors établis dans toutes les directions, et ont sillonné tous les dépôts qui se trouvaient à découvert; mais le volume des eaux fournies par les lacs précédemment formés à l'intérieur des terres, dont les digues ont été sans doute rompues dans la nouvelle catastrophe de soulèvement, n'est plus en rapport avec la grandeur du résultat obtenu : il faut qu'il ait été prodigieusement accru par quelque circonstance, attribuable peut-être à la fonte subite des neiges et des glaciers accumulés alors sur les Alpes occidentales. Les courants qui se formèrent, en sillonnant la surface des terres, en ont transporté les débris de toutes parts ; de là les alluvions de la vallée du Rhône, de la Crau, des plaines de la Lombardie, de celles de la Bavière, de la vallée du Rhin, etc.; de là aussi l'existence ou la configuration dernière de nos vallées actuelles, les dénudations, les dislocations que nous voyons en tant de lieux différents, § 121, 144. C'est du soulèvement de cette partie des Alpes que paraît dater la séparation de la France et de l'Angleterre, aussi bien que celle de l'Irlande, par les ruptures qui se sont opérées entre Brest et le cap Lizard, entre Caernarvon et Dublin. C'est alors que la Méditerranée a pris ses limites actuelles par suite de l'affaissement des terrains qui s'étendaient au sud de Marseille à l'époque de la mer parisienne. Le golfe de Bothnie s'est peut-être produit aussi à cette époque, puisque les dépôts coquilliers qui se trouvent en quelques points sur les côtes, se rapportent tout au plus aux terrains subapennins.

Mais le changement de configuration du sol n'a pas été la seule conséquence de l'apparition des Alpes principales; cette catastrophe, étendue sur une grande partie du monde, depuis la hauteur de l'Espagne jusqu'au centre de l'Asie, § 238, a été suivie du refroidissement subit de nos contrées au point où nous en sommes aujourd'hui. Depuis lors les palmiers ont cessé de végéter en Europe, et les plantes dicotylédones se sont prodigieusement accrues. Les éléphants, les rhinocéros, les panthères, qui venaient de paraître dans cette partie du monde, s'y sont complétement éteints ; et si l'ours des cavernes trouve son analogue dans nos ours actuels, la taille a du moins considérablement diminué. La faune de cette partie du monde a de nouveau complétement changé, et elle s'est trouvée remplacée par celle que nous connaissons aujourd'hui. Il y a plus, car c'est probablement du temps qui suivit cette catastrophe que date l'apparition de l'homme sur la terre : en effet, d'un côté, il n'y a pas même de débris humains dans ce qu'on a trop légèrement nommé le diluvium, car on ne peut compter les sque-

lettes de la Guadeloupe, qui sont de l'époque moderne; et, de l'autre, les animaux qui ont alors commencé sont précisément ceux avec lesquels, depuis les temps historiques, l'homme a toujours vécu.

§ 253. **Époque moderne.** — Depuis l'époque des Alpes principales il ne s'est fait aucun bouleversement général en Europe, et quelques éruptions volcaniques, quelques soulèvements produits par les tremblements de terre, ont été les seuls effets manifestés. Telle paraît aussi avoir été l'action du 13e soulèvement qui s'est manifesté dans la Morée, dans la contrée de Naples, en Sicile, sur quelques points de la Provence, et qui a peut-être déterminé, à travers d'anciennes fissures, § 234, l'éruption des volcans modernes de l'Auvergne et du Vivarais, dont la belle conservation atteste la postériorité aux grandes dénudations qui ont suivi l'avénement des Alpes principales.

Mais s'il n'y eut presque rien en Europe après ce grand événement, peut-être n'en fut-il pas de même dans les autres parties du monde. On peut soupçonner qu'une grande partie de l'immense bourrelet montagneux qui longe l'Amérique, et traverse l'Asie du Kamtschatka à l'empire Birman, est le résultat d'une catastrophe plus récente; cette direction offre du moins le trait le plus étendu, le plus tranché, et, pour ainsi dire, le moins effacé de la configuration extérieure de la terre. C'est là que se présente aujourd'hui le plus grand nombre de soupiraux volcaniques en activité, et par conséquent la communication la plus étendue, la mieux conservée, de l'intérieur du globe à l'extérieur, peut-être aussi la plus grande masse de produits volcaniques connue.

§ 254. **Déluge.** — Les apparitions successives des grandes chaînes de montagnes ont produit, comme nous l'avons vu, de grands bouleversements sur les diverses parties du globe qui en ont été tour à tour le théâtre. Mais il est évident aussi que ces catastrophes, du moins celles qui ont été d'une grande énergie et qui se sont développées sur un grand espace, comme les soulèvements des Pyrénées, des Alpes, etc., § 233 à 236, ont dû manifester leur action sur tout le reste du globe par des phénomènes secondaires plus ou moins importants. Si un simple tremblement de terre suffit pour produire une violente agitation de la mer, une irruption subite de ses eaux sur les continents, § 21, ces effroyables révolutions n'ont pu manquer de déterminer dans l'Océan des mouvements plus ou moins impétueux, des dérangements momentanés ou des changements durables dans la surface d'équilibre des eaux, § 22. De là sans doute des inondations extraordinaires qui, à chaque catastrophe, ont dû ravager la surface des terres exis-

tantes, y produire, comme de nos jours, § 21, 77, des dénudations diverses, ou des alluvions superficielles plus ou moins étendues.

Or, puisque, sans compter tout ce qui a jusqu'ici échappé aux investigations de la science, nous voyons clairement, en Europe, une série de mouvements successifs du sol qui ont modifié tout ce continent, et plusieurs même tout un hémisphère, § 93, 238, il n'y a rien d'absurde à admettre que ce qui a eu lieu à tant de reprises différentes, depuis les époques les plus anciennes de formation, § 157 et 225, jusqu'aux plus modernes, § 211 et 237, soit arrivé une fois quelque part depuis l'apparition de l'homme sur la terre, § 252. Par conséquent il n'y a rien non plus de contraire à la raison dans la croyance à une grande irruption des eaux sur les terres, à une inondation générale, à un déluge enfin, qu'on trouve non seulement décrit dans la Bible, mais encore profondément empreint dans les traditions de tous les peuples, et à une date presque uniforme. Ainsi, tout en reconnaissant dans le récit de Moïse des circonstances extraordinaires qui montrent l'intervention surnaturelle de la volonté divine pour châtier le genre humain, nous voyons d'un côté la possibilité matérielle de cet affreux événement, et nous trouvons de l'autre le secret même des moyens qui purent être mis en jeu ; c'est-à-dire les soulèvements, les affaissements, les oscillations résultant des eaux, qui deviennent dès lors les instruments de la justice céleste. Si l'on ne peut trop attribuer cette grande catastrophe au soulèvement du Ténare, § 237, qui, en disloquant des dépôts où se trouvent déjà des traces de l'industrie humaine, n'a cependant produit que de faibles résultats, peut-être en trouverait-on la cause dans l'apparition des Andes et de la chaîne volcanique de l'Asie centrale, qui, avec un développement colossal, présentent des caractères assez frappants de nouveauté relative, § 253.

§ 255. **Avenir du globe.** — Quant à l'avenir de notre planète, tout porte à croire que l'état de tranquillité dont nous jouissons n'est que temporaire, comme tous les intervalles de crises pendant lesquels les différents dépôts sédimentaires se sont formés. En effet, dans la série des perturbations qui ont fait de tout temps partie du mécanisme de la nature, nous ne voyons aucune loi qui puisse permettre de concevoir un terme à la succession de ces phénomènes : à des accidents peu importants succèdent indistinctement ou des crises du même ordre, ou d'affreuses catastrophes ; comme à de longues périodes de tranquillité succèdent tout-à-coup des bouleversements épouvantables. Au petit soulèvement du mont Viso, par exemple, § 232, a succédé la grande catastrophe des

Pyrénées, § 233; à celles-ci, les petits accidents du système de Corse, qui ont été suivis par les grands événements des Alpes, § 234 à 236. La longue période des terrains jurassiques, § 172 à 184, a été troublée par le soulèvement de la Côte-d'Or, § 231, comme le dépôt du grès vosgien, § 166, a été presque aussitôt arrêté par le système du Rhin, § 229. Tout est donc irrégulier dans les révolutions que nous avons appris à connaître; il ne s'y présente aucun fait qui puisse suggérer l'idée d'une diminution graduelle dans l'intensité des actions souterraines, et nous faire penser que la terre ait perdu la propriété de se rider successivement en différents sens. Rien en conséquence ne peut nous assurer que la période de calme dans laquelle nous vivons depuis 5151 ans (époque du déluge) ne sera pas troublée à son tour, à l'improviste, par l'apparition de quelque nouveau système de montagnes; effet d'une nouvelle dislocation du sol, dont les tremblements de terre montrent assez que les fondements ne sont pas inébranlables. De là il suit que l'idée d'une fin, ou d'un renouvellement des choses ici-bas, idée religieuse, et tout aussi répandue que celle d'une grande inondation passée, pourrait également trouver un appui dans les lois mêmes qui semblent régir le monde.

§ 256. **Géogénie. Résumé général.** — L'histoire de tous les systèmes qui ont été imaginés pour expliquer l'origine du monde, et de la terre en particulier, pourrait peut-être offrir quelque attrait à la curiosité; mais, outre que ce serait employer ici beaucoup de temps à de purs romans, il est peut-être avantageux, pour l'honneur de l'espèce humaine, de livrer à l'oubli tant d'aberrations d'esprit que nous aurions à faire connaître. Une seule géogénie mérite notre attention : c'est celle qui se trouve aussi exposée dans le livre de Moïse, et qui, après plus de trois mille ans, se présente encore, d'un côté, comme l'application la plus nette des théories les mieux établies, et, de l'autre, comme le résumé le plus succinct des grands faits géologiques.

Quoi de plus rationnel, en effet, et de plus conforme à l'état même de nos connaissances, quand il s'agissait de mettre de l'ordre dans la confusion générale des choses, que de créer le véhicule au moyen duquel les phénomènes de la lumière, de la chaleur, etc., pouvaient se manifester et porter la vie partout; que de rassembler les éléments dispersés, en certains groupes espacés entre eux; que d'établir çà et là des centres d'attraction autour desquels tout pût graviter suivant une loi immuable, etc.? C'est cependant ce qu'on trouve, en termes brefs et vulgaires, mais intelligibles à tous, dans les premiers versets de la Genèse, qui offrent ainsi trois faits dis-

tincts. En effet, on y trouve, en résumé : *Deus fecit* LUCEM (le fluide de la lumière, de la chaleur, etc.), FIRMAMENTUM (l'espace et toutes les masses qui s'y trouvent disséminées), SOLEM ET STELLAS (les centres d'attraction), etc.

Quant à la création organique, elle se partage en quatre époques successives tout aussi rationnelles. La première établit la *vie végétative*, qui se manifeste non seulement dans les plantes, mais encore dans ces animaux inférieurs, où l'on trouve à peine autre chose que les phénomènes de nutrition, d'accroissement, etc. Vient ensuite la *vie de relation*, où la sensibilité, l'instinct, l'intelligence, la volonté, se joignent successivement en diverses proportions aux phénomènes de pure existence. Cette vie nouvelle prend d'abord un certain développement dans les poissons (comprenant sans doute les reptiles), puis dans les oiseaux, qui constituent ensemble la seconde époque de création. Elle acquiert une nouvelle extension dans les mammifères, qui paraissent à une troisième époque; et enfin elle parvient au plus haut degré dans l'homme, qui termine l'œuvre du Tout-Puissant, et reçoit une âme à l'image de Dieu pour le distinguer de tous les êtres.

C'est sans doute là un admirable exemple de combinaisons organiques successives; mais c'est précisément aussi l'ordre dans lequel se présentent successivement tous les débris ensevelis dans les sédiments des différents âges. Ceux que nous rencontrons dans les dépôts que nous regardons comme les plus anciens, sont les dépouilles calcaires de certains polypiers, les moules, quelquefois le test même de quelques mollusques acéphales, les crustacés trilobites, et les débris végétaux dont l'accumulation a formé l'anthracite des terrains devoniens, § 158. L'abondance, l'étendue, l'épaisseur de ces couches combustibles annoncent déjà une grande puissance de végétation, qui conduit à croire que les plantes existaient depuis longtemps, et que peut-être leurs premiers débris ont disparu dans les métamorphismes profonds qui ont modifié les dépôts dans lesquels ils pouvaient être.

Les poissons ne se rencontrent pas avant les terrains devoniens, et c'est seulement dans les dépôts houillers qu'ils présentent une puissance d'organisation qui se perd dans les dépôts suivants, et qu'on ne connaît même plus aujourd'hui sur le globe. Les reptiles ont laissé leurs dépouilles dans les terrains pénéens, qui viennent ensuite; et les oiseaux, dont la Genèse place aussi la création à la même époque, mais en second lieu, ont laissé les empreintes de leurs pattes sur les dalles du grès bigarré, § 170.

Les mammifères ne viennent que longtemps après; s'il s'en

trouve déjà quelques traces dans la grande oolite, § 181, elles appartiennent aux ordres les moins parfaits; ce n'est que dans les dépôts tertiaires que leurs débris de toute espèce se présentent en abondance, § 193 à 206.

Les débris humains ne se montrent dans aucune des couches qui ont été soulevées du sein des eaux et qui font aujourd'hui partie de nos continents, d'où il suit que l'être privilégié de la création générale n'a paru sur le globe qu'après les animaux dont nous trouvons déjà les débris fossiles; il ne date que d'une époque relativement très récente, qui se place géologiquement après le soulèvement des Alpes principales, § 252, dont en conséquence la formation remonterait à environ 6806 ans, suivant les chronologies admises. C'est dans les dépôts formés sous les eaux depuis cette catastrophe que doivent seulement se trouver les ossements de l'homme, et ils n'apparaîtront dès lors dans la série des couches géologiques que quand de nouvelles révolutions auront transformé en continents les sédiments qui se trouvent encore sous les mers.

On voit évidemment par ce résumé que l'exposé rapide de l'historien sacré est entièrement conforme aux généralités géologiques : seulement, l'observation nous a fait connaître un grand nombre de détails, inutiles sans doute pour la plupart des hommes, mais qui intéressent du moins le petit nombre de ceux qui se livrent à l'étude, s'ils ne sont même destinés peut-être à éclairer leurs croyances.

L'ensemble des données que nous possédons aujourd'hui nous conduit à voir que chacune des créations particulières indiquées brièvement dans la Genèse, à l'exception de celle de l'homme, n'a pas eu lieu d'un seul jet; qu'elle a été faite, au contraire, successivement, dans un espace de temps considérable, et à mesure que le globe terrestre était lui-même façonné. En effet, si les cryptogames vasculaires ont paru à peu près dès le commencement des choses, les phanérogames gymnospermes ne sont venues que vers l'époque du terrain houiller, et n'ont même existé en abondance que longtemps après; il en est de même des monocotylédones dont les débris sont d'abord peu nombreux et peu distincts, et qu'on ne voit bien clairement qu'après la craie; les dicotylédones ne paraissent que plus tard encore au milieu des terrains tertiaires. Dans tout cet intervalle de temps, les espèces ont successivement changé, et celles qui ont été créées tour à tour ont aussi entièrement disparu l'une après l'autre pour faire place à de nouvelles.

Les poissons, les reptiles, les mollusques nous présentent les

mêmes phénomènes, et nous montrent plus clairement encore les extinctions successives de différentes races et l'apparition de plusieurs autres. Ainsi les poissons sauroïdes, qui vivaient au moment où la houille s'est formée en Belgique et en Angleterre, disparaissent pour toujours dans le nouvel ordre de choses qui s'établit lors de la formation pénéenne. Les vrais squales n'existaient pas alors, et ils apparaissent longtemps après dans la mer crétacée. Des sauriens gigantesques à pattes en forme de rames, des sauriens volants existent en abondance à l'époque jurassique, et disparaissent à l'époque suivante, où ils sont remplacés par d'énormes sauriens terrestres, dont il n'y a pas de traces auparavant, et qui, après avoir seuls longtemps peuplé la terre, se perdent aussi successivement, ne laissant après eux que des crocodiles, fort différents encore de ceux que nous avons aujourd'hui. De même les trilobites, les productus, les spirifères, après avoir pullulé pendant quelque temps, disparaissent les uns après les autres. Les ammonites, les bélemnites leur succèdent, et se trouvent surtout en abondance dans la mer jurassique ; puis elles s'éteignent complétement, après avoir changé successivement d'espèces, au moment où la formation crayeuse cesse aussi d'avoir lieu. Tous les mollusques qui viennent après se rapprochent de plus en plus de ceux qui existent, dont il n'y avait pas alors de traces.

Les mammifères présentent des circonstances semblables, et les divers ordres, les diverses espèces n'apparaissent que successivement. Les premiers ne sont que de faibles marsupiaux, § 181, et c'est longtemps après que viennent les pachydermes analogues au tapir, dont les premières espèces sont bientôt anéanties. D'autres espèces leur succèdent, et celles-ci se trouvent associées à de nouveaux animaux, les *mastodontes* et les *dinotherium*, qui s'éteignent presque aussitôt pour toujours. C'est plus tard encore que viennent les *éléphants*, et ils se montrent avec des *carnassiers*, des *rongeurs*, etc., dont les espèces ne sont encore que le prélude de celles qui apparaissent en même temps que l'homme.

Tous ces changements successifs dans la série des êtres coïncident avec de grands bouleversements à la surface du globe. C'est en effet au moment des catastrophes produites par les mouvements du sol que disparaissent en général les familles, les genres, les espèces de corps organisés qui avaient jusqu'alors existé. Dans les moments de calme suivants, se développe, au contraire, la nouvelle organisation, qui doit se trouver en harmonie avec les nouvelles circonstances atmosphériques et les dispositions que les lignes isothermes, § 17, ont pu prendre.

§ 257. Ces détails, que l'observation conduit à ajouter au récit de la Genèse, sont en harmonie générale avec les faits qui s'y trouvent brièvement émis, et dont ils ne sont que le développement; la seule difficulté qu'ils puissent présenter est celle qui s'applique au mot *jour*, qui heureusement, aux yeux mêmes des juges légitimes, depuis saint Augustin jusqu'à nous, ne paraît pas avoir en réalité la valeur que les peuples y ont naturellement attribuée. Cette expression semble, en effet, n'avoir été adoptée que comme indication d'époques relatives, comme moyen de faire comprendre et retenir l'ordre et la succession des choses qui étaient tout-à-coup révélées. Il est clair, en effet, que des détails minutieux, établis catégoriquement par des chiffres, qui satisferaient la curiosité d'un petit nombre d'hommes, ne seraient ni saisis ni compris par le vulgaire, qui cependant a droit aussi à cet important enseignement. Nous prenons souvent nous-mêmes des voies encore plus détournées pour nous faire mieux entendre de tous : c'est ainsi que nous disons le lever et le coucher du soleil, l'arrivée de cet astre au méridien, au solstice, etc., quoique nous sachions bien que c'est à la terre qu'il faut attribuer des mouvements inverses.

Suivant les observations géologiques, cette expression vulgaire de *jours* paraît devoir signifier des *époques*, qui présentent de longues périodes de temps dont chacune est relative à un certain système de création dans lequel il y a eu diverses formations d'êtres, comme aussi des extinctions successives de ceux qui avaient existé les premiers. Chaque période commence a une date particulière nettement déterminée, et marquée par une catastrophe qui bouleverse l'ordre de choses établi précédemment sur la terre; elle se prolonge pendant plus ou moins de temps, quelquefois à travers les époques suivantes, et souvent jusqu'à l'apparition de l'homme lui-même. Il s'est passé, suivant les conjectures de la science, un temps immense entre la formation des premiers sédiments et celle des derniers, sans compter ce qu'il a fallu pour la consolidation et le premier refroidissement des masses planétaires. C'est dans cette longue série de siècles, qui ne sont qu'un instant dans l'éternité, que la terre a été façonnée comme nous la voyons par les mouvements de toute espèce du sol, par les dépôts sédimentaires de diverses sortes, et préparée enfin au séjour de l'homme, pour lequel Dieu avait tout disposé.

FIN DE LA GÉOLOGIE.

TABLE ALPHABÉTIQUE

DE LA GÉOLOGIE.

A

Accroissement de chaleur de la surface de la terre au centre. 5.
Acides carboniques, chlorhydriques, dans les volcans. 55.
Action volcanique, dépôts et effets qu'on peut lui attribuer, 140. — des roches ignées sur les dépôts de sédiment. 165, 267.
Affaissements produits pendant les tremblements de terre. 22. — du Groënland. 26. — de diverses montagnes volcaniques 56, et de divers terrains 123, affaissements anciens. 117.
Ages relatifs des dépôts de sédiment principaux. 185. — des roches de fusion. 264. — des principaux soulèvements. 285.
Aiguilles, dents, cornes, formes des montagnes. 9.
Air et eaux, phénomènes qu'ils produisent. 60, 96.
Alluvions des rivières. 79. — débris organiques qui s'y trouvent. 86. — anciennes. 250. — modernes. 257.
Altérations des roches à la surface du globe. 60.
Amas métallifères. 164.
Amblypterus, poissons du terrain houiller. 197.
Amphibolites. 239.
Ammonites, caractères qu'elles fournissent. 181. — du calcaire conchylien. 203. — du lias. 207. — de l'oolite. 213. — de la craie. 226.
Amplexus dans les terrains devoniens. 188.
Amygdaloïdes, passant au trapp. 155. — produites par métamorphisme. 168. — leurs caractères. 263.
Andesite, sorte de trachyte. 262.
Animal de Maestricht, de l'Ohio, de Simore (voyez Mastodonte). 228. — du Paraguay. 251.
Animaux de l'époque houillère. 191, 196, 301. — de l'époque du trias. 205, 205, 305. — de l'époque jurassique. 207 à 218, 306. — de l'époque crétacée. 221 à 234, 308. — de l'époque parisienne. 235 à 239, 311. — de la molasse. 240, 313. — de l'époque subapennine. 246, 314. — du diluvium. 251, 315.
Anodontes, coquilles des eaux douces. 106.
Anoplotherium du gypse parisien. 238.
Anthracite, terrains qui en renferment. 188.
Apparition des roches de fusion. 264.
Aphanite ou Diorites. 261.
Aplatissement de la terre aux pôles. 3.
Argile, est un grès fin. 184. — salifère. 116. — convertie en jaspe. 158, 162. — d'Oxford. 215. — de Kimmeridge. 218. — plastique. 234. — de Londres. 238.
Argilophyre et Argilolite. 185, 262.
Arkose, grès divers métamorphiques. 167. — remplie de matières étrangères. 185. — du Lias. 206, 211.
Asaphes, caractérisent les sédiments anciens. 180.
Astartes, caractérisent certaines couches jurassiques. 217.
Atlantide, on ne peut nier son existence. 24.
Atmosphère, son influence sur les roches. 60.
Attérissement des rivières. 79. — leur structure. 84.
Attraction terrestre. 2.
Auvergne, ses volcans. 54, 140.
Avalanches de pierres. 61.

B

Baculites, coquilles caractéristiques de la craie. 180.
Ballon, forme de montagnes. 9. — système des ballons. 282, 284.
Barancos, vallées de déchirements dans les Canaries. 54.
Basaltes, leurs manières d'être, leurs caractères ignés. 145. — leur action sur les roches qu'ils traversent. 147. — comment leurs coulées, leurs nappes ont

pu être disloqués. 169. — leurs scories enlevées. 170. — leur nature. 261. — leurs différents âges. 266.
Bassins houillers de la France. 198, 299.
Belemnites, caractères qu'elles fournissent. 182. — du lias, leurs poches d'encre. 211. — de la craie. 228.
Bitume, forme des dépôts adventifs. 117.
Blocs erratiques. 72, 172, 254.
Bois, charriés par les eaux. 80. — de conifères et de dicotylédones, leurs caractères. 243.—de palmiers, 244.
Bombes volcaniques, cendres, fumée. 44.
Brachiopodes, caractères qu'ils fournissent. 182.
Bradford Clay. 212.
Brèches, ce qu'on nomme ainsi dans les montagnes. 15.—ce qu'on nomme ainsi comme roches. 184.— osseuses. 249.
Brisants des îles madréporiques. 90.
Buah de Java, *Moya* du Pérou. 55.
Buttes basaltiques. 145.

C

Cailloux roulés, leur formation. 71.
Calamites, plantes des terrains houillers. 194.
Calcaire, lacustre. 105. — marin. 107. présente des cratères de soulèvement. 152. — carbonifère. 190. — magnésien. 201. (voyez aussi Dolomie.) — conchylien. 205. — à gryphées arquées. 207. — à bélemnites. 208.—de Purbek. 223. — grossier ou à cérites. 234.— siliceux. 237.
Calcéole, appartient aux terrains devoniens. 188.
Calchistes, Calciphyre. 265.
Calymène des terrains siluriens. 180.
Cannelures des rochers. 75, 252.
Cantal, sa nature trachytique. 154.
Camargue, ses alluvions anciennes. 251.
Carguaraizo, son éboulement. 37.
Carnassiers des cavernes. 248.
Carte houillère de la France. 199. — du terrain jurassique en France. 219. — géologique de la France. 273. — des soulèvements en France. 280.—des soulèvements sur tout le globe. 295. — de l'Europe pendant la période carbonifère. 299. — pendant la période jurassique. 305; pendant la période crétacée. 309; pendant la période parisienne. 311.
Cascades, Cataractes. 15. — comment elles dégradent les rochers. 67.
Caspienne (mer), son affaissement. 124.
Cataractes. 15.
Catastrophes diverses du globe. 275.
Cavernes, leur origine. 159. — à ossements. 247.
Cémentation, explique une partie du métamorphisme. 168.
Cendres volcaniques, fumées, bombes. 44.
Cérites du calcaire grossier. 235.
Chailles, boules siliceuses qui caractérisent certaines couches du Jura. 216.
Chaînes de montagnes. 10. — chaînes des Puys. 141.
Chaleur centrale. 5. — phénomènes qui en résultent. 99.
Chaleur, sa distribution à la surface du globe. 16. — son élévation dans certaines contrées. 18. — était plus forte autrefois en Europe. 101. — Effet du refroidissement du globe. 100.
Champs-Phlégréens, leurs dépôts ponceux, leurs buttes crevées et aiguës. 29, 34, 129.
Charbon de terre (voyez Houille).
Chaussées des géants, ou Chaussées basaltiques. 149.
Chaux, volatile à la température de fusion. 168.
Chères, ce qu'on nomme ainsi. 141.
Chili, ses côtes soulevées. 22.
Chutes d'eau, cascades et cataractes. 15.
Cipolin et Calchistes. 265.
Cirques dans les vallées. 14. sont des cratères de soulèvement. 151, 146.
Climats divers. 18. — anciens, preuves de leur changement. 101. — les causes de ce changement. 104.
Cluses, escarpements dans le Jura. 135.
Collines produites par dénudation. 169.— subapennines, leur nature. 245.
Colonnades basaltiques. 145 à 150.
Cols, passages, brèches. 15.
Concordance de stratifications. 177.
Cônes de soulèvement. 35. — de scories. 41.
Cônes volcaniques et courants de laves.— 140.
Conglomérats trachytiques. 152. — à pâte de porphyre. 159. — de granite. 160.
Conifères du terrain houiller. 196. — du grès bigarré. 205.— du lias. 211. — de la grande oolite. 214. — des dépôts wealdiens. 224. — de la molasse. 242.
Continents et îles. 7. — Restes de continents affaissés. 126.
Contournements des couches. 154.
Coprolites du terrain houiller. 197. — du lias. 210.
Coquilles microscopiques ou foraminifères. 88, 111.
Coquilles fossiles, caractères qu'elles fournissent. 180. — caractéristiques des dépôts d'eau douce. 105. — du calcaire carbonifère. 191. — du grès houiller. 115, 197. — du terrain penéen. 201. — du calcaire conchylien. 205. — du lias.

207. — de la grande oolite. 212. — des groupes oxfordien. 216. coralien. 217. portlandien. 218. — du terrain crétacé inférieur, 221. — du terrain crétacé supérieur. 228. — du terrain parisien. 233. — de la molasse. 240. — du terrain subapennin. 246.
Coral rag. 216.
Corubrash. 212.
Cornéenne ou Diorite. 261.
Côtes, affaissées ou soulevées. 23. — leurs modifications par les vagues. 75.
Couches primitives, secondaires, tertiaires. 269.
Couche de boue de Portland. 102. annonce affaissement et soulèvement. 123.
Couches relevées dans les cratères de soulèvement. 34. — Comment on voit que les couches terrestres ont été redressées. 127.
Coulées de laves, leurs diverses formes. 46. — leurs ruptures. 169.
Crag d'Angleterre. 246.
Craie inférieure. 213. — Chloritée, craie tufau. 224. — supérieure, craie marneuse. 228. — étendue des terrains crétacés. 238.
Cratères des volcans, leur intérieur. 41.
Cratères de soulèvement. 23. — dans divers terrains. 129, et les terrains calcaires. 131.
Cratères d'effondrement, ou cratères-lacs. 56, 125.
Crau, ses dépôts d'alluvions. 251.
Crevasses produites par les tremblements de terre. 20.
Cycadées du terrain houiller. 195. — du trias. 204. — du groupe oolitique. 215. — du groupe portlandien. 218. — des dépôts wealdiens. 224.

D

Débâcles des lacs. 69.
Débris végétaux charriés par les fleuves. 80.
Débris organiques des sédiments actuels. 86. — caractères qu'ils fournissent pour les couches anciennes. 180.
Débris de l'industrie dans les dernières couches terrestres. 119.
Défilés des montagnes. 14.
Dégradations produites par l'action atmosphérique. 59.
Deltas, leur formation, leur accroissement. 79.
Déluge n'a pu produire les dépôts anciens. 118. — est conforme aux faits géologiques. 316.
Densité moyenne de la terre. 4.
Dénudations produites par les eaux. 65 à 69, 169.
Dépôts, volcaniques. 53, 140. — formés par les eaux. 78. leur structure, stratification. 83. leur nature. 86. — Dépôts anciens lacustres. 105. — marins. 107. — de foraminifères. 111. — d'infusoires. 112. — charbonneux. 115. — adventifs, salifères, ferrugineux, siliceux, etc. 116. — coquilliers soulevés. 119. — Stratification des dépôts anciens. 177.
Dépôts basaltiques. 142. — trachytiques. 150.
Dycotylédones, commencement de leurs débris. 234. — Caractères de leurs bois. 243.
Dikes et filons de laves. 50. — basaltiques. 145.
Diluvium, ce qu'on nomme ainsi. 250. — Etat de l'Europe à cette époque. 315.
Dimension du globe terrestre. 3.
Dinotherium de la molasse. 242.
Diorite, ses manières d'être. 155. — ses diverses apparitions. 265.
Direction et inclinaison d'une couche. 177.
Discordance de stratification. 178.
Dislocations, soulèvements des couches anciennes. 126.
Distribution de la chaleur à la surface du globe. 16.
Dolomie et Dolomisation par les basaltes. 148. — par les trapps. 157. — par les mélaphyres. 158. — par les granites. 161. — Morcellement particulier des dolomies. 172.
Dômes volcaniques. 40, 45.
Domite, roche des terrains trachytiques. 151, 262.
Dunes, leur marche. 65.

E

Eau, son action à la surface du globe. 65, 157. — Dépôts formés par les eaux. 78. — Eaux courantes, leurs effets. 68, 97.
Eboulements causés par les eaux. 66.
Effondrements de diverses montagnes. 56.
Eléphants, leur époque. 247, 252, 315.
Emanations gazeuses des volcans. 54.
Encre de seiches fossiles. 211.
Encrinites, débris organiques de certains terrains. 107, 186, 191, 203.
Energie de l'action volcanique. 51.
Enfoncements subits de terrains. 36.
Ensablement de certaines contrées. 79.
Epoques diverses de formation dans une montagne volcanique. 40.
Equisétacées des grès houillers. 194. — des oolites. 215.

Erosion des eaux. 67, 98, 168.
Eruptions volcaniques. 27, 44. — sous-marines. 30, 58. — du Vésuve en 79. 29.—boueuses de Java, du Pérou. 55.— des Salzes. 57.—Estimation de l'énergie volcanique. 51.
Etés extrêmes de diverses contrées. 18.
Etna, son profil, 2, 37. — n'est presque rien dans le relief de la contrée. 2. — moment de son apparition. 293.
Euphotide ou Gabro. 261.
Eurites, petrosilex, feldspaths compactes. 259.
Europe, ses différents états aux époques de formation. 296.

F

Failles. 128.
Falaises, leurs modifications journalières. 75.
Faluns de la Touraine et des Landes. 240.
Faune des dépôts siluriens. 188.— de l'époque houillère. 191, 196, 301. — de l'époque pénéenne. 201. — de l'époque triasique. 203, 205, 303. — de l'époque jurassique. 207 à 218, 306.—de l'époque crétacée. 221 à 231, 309.—de l'époque parisienne. 235, 311. — de la molasse. 240, 315. — de l'époque subapennine. 246, 314.—du diluvium. 250, 315.
Fausse stratification. 180.
Fentes produites par les tremblements de terre. 21.
Filons de laves et dikes. 49.— basaltiques. 141.—de domite, de trachyte. 153.—de trapp. 156.— de serpentine. 158. — de porphyre, de granite. 159, 161. —métallifères. 162.
Fin du monde dans l'ordre des choses naturelles. 317.
Fleuves, leurs pentes. 70. — leurs ensablements. 79, ne suivent pas la pente naturelle du terrain et semblent fuir les terrains meubles. 135.
Flore fossile. 183.—de l'époque houillère. 193, 306.— de l'époque triasique. 204, 305.—de l'époque jurassique. 211, 214, 307.—de la craie, 224, 308. —de l'époque parisienne. 234, 259, 312. — de la molasse. 242, 313. — des terrains subapennins. 247.—du diluvium. 315.
Fluidité de la terre à une certaine époque. 3, 6.
Fond des mers. 8.
Foraminifères. 88, 111.
Forest marble. 212.
Forêts, en place dans les tourbières. 92. — dans les calcaires secondaires et la houille. 102.—sous-marines. 123.
Formation, lacustre et marine. 105, 107. — basaltique. 142. — trachytique. 150. — cambrienne, silurienne. 186.— devonienne. 188. — houillère. 190. — pénéenne. 200.—vosgienne. 201. — du trias. 202.—jurassique. 206.—crétacée. 221.— parisienne. 234.—de la molasse. 239.—subapennine. 245.
Formation d'un volcan en diverses époques. 40.— des vallées par dislocation. 135.
Forme de la terre. 1.—des montagnes. 8. —des lignes isothermes. 16.
Fossiles, lacustres et marins. 105, 107. caractères qu'ils fournissent. 180.— des terrains siluriens. 187.—devoniens. 189. — des terrains houillers. 191 à 197. — du terrain pénéen. 201. — du trias. 203.—du lias. 207.—de la grande oolite. 212. — des groupes oxfordien. 216. coralien. 217. portlandien. 218. — du terrain crétacé inférieur. 221 à 227, et supérieur. 229 à 231.—du terrain parisien. 235 à 238.
Foudre, disloque quelquefois les rochers. 63.
Fougères du grès houiller. 193.
France, ses divisions géologiques. 273.
Froid rigoureux de certaines contrées. 18. — n'était pas jadis si intense dans nos climats. 101, 104.
Fumerolles d'acide carbonique. 55. — en général. 58. explication. 101, 104.
Fumée, cendres, bombes volcaniques. 44.

G

Gabro ou Euphotide. 261.
Gaz des volcans, des laves. 54, 56.
Gault des Anglais. 224.
Gelée, son action sur les rochers. 61.
Genèse conforme aux faits géologiques. 318.
Géogénie. 318.
Géologie de la France. 273.
Gerbiers basaltiques. 148.
Geyser d'Islande. 59.—leurs tufs siliceux. 85.
Gibbosité originelle d'une montagne volcanique. 40.
Gîtes métallifères. 162.
Glaces, charrient des blocs de roches. 72.
Glaciers, débris charriés à leur surface. 72.—supposés la cause des stries et cannelures des roches. 74, ou le véhicule des dépôts erratiques. 255.
Globe terrestre, faits généraux qu'il présente. 1, 94.
Gneiss, sa composition. ses passages à d'autres roches. 260.
Gouffres produits par les tremblements de terre. 21, 36.

Grande oolite. 212.
Granites, leurs dégradations. 62.—origine. 159. — nature. 259. — leurs diverses apparitions. 264.
Grauwackes. 184.
Gravitation ou pesanteur. 2.
Great oolite. 212.
Green sand ou grès vert. 185, 224.
Greisen, ou hyalomicte granitoïde. 260.
Grès, définition et diverses sortes. 184.— rouge (vieux). 188. (nouveau). 200.— houiller. 192.—vosgien. 201.—bigarré. 185. 202.—du lias. 206.—grès vert. 224. —grès de Fontainebleau. 239.
Grotte (voyez Cavernes). — basaltique. 150.
Grünsten, *grünstein-porphyr* (voy. Diorite. 155, 261, 262).
Gryphées de diverses espèces, caractérisent les diverses couches jurassiques. 180, 207, 212, 216.
Gryphitenkalk est le calcaire pénéen. 201.
Gypse, forme des dépôts adventifs. 116. — parisien. 237.—d'Aix. 244.
Gypse du lias. 211. — accompagnant les ophites des Pyrénées. 157. — au milieu des granites alpins. 161.

H

Herculanum ensevelie sous les ponces. 29.
Hippurites de la craie des Pyrénées. 230.
Hivers rigoureux de certaines contrées. 18.
Homme, ses débris à la Guadeloupe. 87. —dans les cavernes. 249. — Epoque de son apparition sur la terre. 315.
Horizons géognostiques. 180.
Houilles formées à la manière des tourbes. 114.—leurs couches disloquées par les failles. 129, ou contournées. 134. — étendue de leurs dépôts. 197.—du lias. 211. — carbonisées par les trapps. 157, et traversées par les porphyres. 159.— enveloppées par les granites. 161.— état de l'Europe au moment de leur formation. 299.
Huîtres de la grande oolite. 215. — du groupe oxfordien. 216.
Hyalomictes, roches de quarz et de mica. 260.
Hyène des cavernes. 248.
Hypérite, roche de labrador et d'hypersthène. 260.

I

Ichthyosaure. 209.
Iles, volcaniques, leurs formes. 38. — madréporiques. 91. — certaines paraissent être les restes d'anciens continents. 126.
Inclinaison et direction d'une couche. 177.
Inde, soulèvement récent. 22.
Industrie, ses débris dans certaines couches. 87, 120.
Influences atmosphériques sur les roches. 60.
Infusoires, dépôts qu'ils forment. 56, 88, 112.
Injections des roches cristallines dans les dépôts de sédiments. 156 à 160.
Irlande, ses trapps. 156.
Islande, ses nappes de laves. 48, ses basaltes. 148.
Isolement de la terre dans l'espace. 1.
Itacolumites, roche métamorphique du Brésil. 162.

J

Jaguars des cavernes. 248.
Japon, ses îles volcaniques. 53, 124.
Java, ses éruptions boueuses. 44, 55. — ses trachytes. 152.
Jets de vapeurs, ou fumerolles. 59.
Joachimsthal, filons effilés par la partie supérieure. 165.
Jorullo, son éruption. 28.
Juan Fernandez, île comprise dans le soulèvement des côtes du Chili. 22.
Jura, accidents de ses montagnes. 132, 134. — servent de comparaison pour tous les dépôts de même âge. 206.

K

Kalkstein (voyez Calcaire).
Kamtschatka, ses volcans. 53. — ses dépôts trachytiques. 150
Keuper, ou marnes irisées. 202.
Kimmeridge clay. 218.
Klingstein, ou phonolite. 151, 262.
Kupferschiefer, schiste cuivreux. 200.

L

Lacs produits par des effondrements subits. 25, 36. — nature des dépôts qui se forment dans les lacs. 86.
Lacs houillers de l'Europe ancienne. 299.
Lapilli ou rapilli. 44.
Laves, ne sont pas des roches particulières. 263.
Laves, en ébullition continuelle au Stromboli. 42. — en vastes nappes en Islande. 46. — manière dont elles coulent sur les pentes. 47. — leurs carac-

tères en rapport avec la manière dont elles ont coulé. 48. — en filons. 49. — gaz que dégagent les laves. 56. — comment on reconnaît les laves anciennes. 140.
Lhersolite, roche de pyroxène. 239.
Lépidodendron, genre de plante du terrain houiller. 194.
Leptynites, roches de feldspath et de mica. 260.
Lias, caractères de ce dépôt. 206.
Lignes anticlinales. 133.
Lignes isothermes. 17.
Lignites formées à la manière de la tourbe. 115. — des terrains jurassiques. 211, 219. — de la craie. 228, 252. — du terrain parisien. 234. — de la molasse. 242. — des terrains subapennins. 247.
Loes du Rhin. 252.
Lycopodiacés du grès houiller. 194.
Lydienne (voyez Quarzite).

M

Madrépores, recifs qu'ils forment. 88.
Magnesian limestone. 201. (voyez Dolomie et Calcaire magnésien).
Magnésie, est volatile à la température de fusion. 168.
Mammifères de l'époque jurassique. 183, 214. — de la craie. 228. — des dépôts parisiens. 238. — de la molasse. 241. — des cavernes. 247. — des alluvions anciennes. 251.
Mammouth (voyez Éléphants et Mastodonte).
Marbres diallagiques produits par l'action ignée. 158.
Marbres de Flandre, à quel terrain ils appartiennent. 190.
Marées et vagues, leur action sur les côtes. 73.
Marnes irisées ou Keuper. 202.
Mastodonte. 241.
Megatherium, animal du Paraguay. 251.
Mélaphyres, origine. 158. — nature. 262. — leurs différents âges. 266.
Mers, leur étendue relativement aux terres. 6. — leur profondeur. 9. — leur agitation dans les tremblements de terre. 23. — constance de leur niveau. 24. — leur action sur les côtes. 74. — structure des dépôts qui s'y forment. 85.
Mer Caspienne, Mer Morte, produites par effondrement. 124.
Mer des différents terrains, définition. 277. — Mer et lacs houillers. 299. — Mer jurassique. 305. — Mer crétacée. 309. — parisienne. 311.
Metalliferous limestone. 190.
Métamorphisme. 165, 267.
Meulière sans coquilles. 237. — coquillière. 240.
Milliolite (voyez Foraminifères). 234.
Molasse, ce que c'est. 185. — forme un terrain particulier. 239.
Monocotylédones dans le terrain parisien. 234. — dans la molasse. 244.
Mont-Dore, sa nature. 154.
Montagnes, sont insensibles relativement aux dimensions du globe. 2. — leurs diverses formes. 8. — chaînes et système de montagnes. 10, 12. — affaissées par les tremblements de terre. 23, 36. — dégradées par les influences atmosphériques. 61. — dégradées par les eaux. 65. — trachytiques. 151.
Monte-Nuevo, sa formation. 27.
Mountain limestone. 190.
Moraines, ce que c'est. 75. — peu comparables aux dépôts erratiques. 255.
Mosasaure, ou animal de Maëstricht. 229.
Moya du Pérou et *Buah* de Java. 55.
Mulettes, coquilles des eaux douces. 106.
Muschelkalk, ou calcaire conchylien. 203.

N

Nagelflue. 245.
Nants sauvages, ou torrents boueux. 69.
Nappes de laves. 50. — de basaltes. 143. — de trachyte. 152.
Nérinées, coquilles caractéristiques de certaines couches du Jura. 217.
New red sandstone, ou grès rouge. 200.
Nifon (île de), ses anciennes catastrophes. 124.
Niveau des mers, sa constance. 24.
Nœuds de montagnes. 11.
Nummulites de la craie. 231. — du calcaire parisien. 236.

O

Obsidienne des volcans modernes. 52. — des terrains trachytiques. 152.
Œsar, *oses*, dépôts erratiques de Suède. 256.
Oiseaux, empreintes de leurs pattes sur le grès bigarré. 124.
Old red sandstone (voyez Vieux grès rouge). 184.
Oolite, ses fossiles. 212.
Ophicalce. 263.
Ophites. 272. — ont converti les calcaires en gypse. 157.
Orientation des principaux soulèvements. 280, 295.

Origine des vallées. 135. — des cavernes, 139. — des basaltes. 143. — des trachytes. 152. — des trapps. 156. — des porphyres, des granites. 157 à 161.
Orthocératites, caractérisent les sédiments les plus anciens. 181.
Oscillation du sol dans les tremblements de terre. 23.
Osar, oses, æsar. 256.
Ossements humains de la Guadeloupe. 87. — dans certaines cavernes. 249.
Ossements de mammifères de l'époque jurassique. 214. — de la craie. 228. — des dépôts parisiens. 238. — de la molasse. 241. — des cavernes. 247. — des alluvions anciennes. 251. — de Sibérie. 252.
Oxford clay. 215.
Ours des cavernes. 248.

P

Pachydermes fossiles. 238, 241, 248, 252.
Paléoniscus, poisson des bassins houillers continentaux. 197.
Paleotherium. 238, 241.
Palmiers de l'argile plastique. 234. — de la molasse, leur structure. 244.
Passages, cols, dans les montagnes. 13.
Pavé des géants. 149.
Pegmatite, sorte de granite. 259.
Pentes des torrents et rivières. 68. — des glaciers. 73.
Perlite, roche des terrains trachytiques. 152.
Pesanteur, ce que c'est. 2.
Pétrosilex ou eurites. 259.
Phénomènes volcaniques. 27, 95.
Phonolites, roches des dépôts trachytiques et basaltiques. 152. — forment les épanchements les plus récents. 154. — leur nature. 262.
Pic, piton, puy. 9.
Pic des Moluques, son éboulement. 57.
Pieds de quadrupèdes et d'oiseaux empreints sur le grès bigarré. 123.
Pierre à plâtre. 237, 244.
Plænerkalk, variété de craie. 224.
Plages et bancs de galets formés sur les côtes. 79. — soulevées en différents lieux. 119, 258.
Plaines basses et plaines hautes ou plateau. 15.
Plantes charriées par les fleuves. 80. — des dépôts d'anthracite. 188. — de la houille. 192. — du grès bigarré. 204. — de l'oolite. 214. — du groupe portlandien. 218. — des terrains tertiaires. 234, 242.
Plateaux du Thibet, du Pérou, du Mexique. 16. — plateaux de laves, de basalte. 48, 50, 143, 147.
Plésiosaures. 209.
Plissement des couches schisteuses. 134.
Poches d'encre de seiches fossiles. 211.
Poissons du terrain houiller. 183, 196. — des schistes bitumineux. 201.
Polissage des roches. 73, 172, 252.
Ponces dans les terrains trachytiques. 152.
Pouzzole, sa solfatare. 44, 129. — ses plages soulevées, temple de Sérapis. 120.
Porphyres, leur origine. 156. — trachytiques. 151. — métamorphiques. 167. des différents âges. 265.
Portes des nations ou défilés. 11.
Productus, caractères qu'ils fournissent. 182.
Poudingues, ce que c'est. 184.
Pouzzolanes. 44.
Production des vallées par dislocation. 135. — des cavernes. 139.
Produits volcaniques solides. 51. — gazeux. 54.
Protogine, sorte de granite. 259.
Psammite et psephite, grès micacé et à ciment argileux. 185.
Ptérodactyles. 210.
Purbeckstone. 223.
Puy, pic, piton, formes de montagnes. 9.
Puy-de-Dôme, sa nature. 153.

Q

Quadersandstein (voyez Grès de lias et Craie).
Quadrupèdes, empreintes de leurs pas sur le grès bigarré. 123 (voyez aussi Mammifères).
Quarzite, ce que c'est. 184, 259.
Quito, ses éruptions boueuses. 56.

R

Radeaux, énormes du Mississipi. 80. — imaginés pour expliquer la formation de la houille. 115.
Rayon de la terre, sa valeur moyenne, 3.
Rapilli ou Lapilli. 44.
Redressements et dislocations des couches terrestres. 126.
Refroidissement des laves. 46. — du globe. 99.
Reptiles des schistes bitumineux. 201. — du lias. 209, 306. — de la craie. 225, 229.
Rescifs de rochers au milieu des mers. 78. — madréporiques. 88. plusieurs ont été soulevés. 91. ont reculé successivement jusqu'aux régions tropicales. 103, 258, 297.
Rétinites, accompagnent les porphyres. 159.

Rides du globe, paraissent se faire sur tout un hémisphère. 100.
Rivières, leur pente. 70. — leur encombrement par les débris. 79. — ne suivent pas la pente naturelle du sol, semblent fuir les terrains meubles. 135.
Rochers, polis, moutonnés, sillonnés. 73, 252. — dégradés par les vagues. 76. — découpés par les eaux. 171.
Roches, sont altérées à la surface. 60. — vitreuses des terrains trachytiques. 154. — des épanchements porphyriques. 159. — trappéennes. 155. — pyroxéniques. 158. — composées. 259. — schisteuses. 265. calcaires. 263. — de fusion. 259. leur influence sur les dépôts de sédiments. 267.
Rongeurs des cavernes. 248.
Roses des principaux soulèvements. 278.
Rothliegende, ou grès rouge. 200.
Ruptures des rochers par les eaux. 77.

S

Sables, consolidés par les eaux calcarifères. 82. — font partie des diverses espèces de grès (voyez Grès). — aurifères, diamantifères, leur âge. 252.
Salzes, ou volcans d'air, volcans boueux. 57.
Santorin, faits que cette île présente. 51, 58.
Sauriens des schistes bitumineux. 201. — du lias. 209, 306.
Schemnitz, vaste cratère de soulèvement. 150.
Schistes. à couches contournées. 134, 179. — bitumineux. 184, 200. — argileux. 265.
Schiste de Stonesfield, renferme les plus anciens mammifères. 214.
Scories, cônes qu'elles peuvent former. 41.
Sédiments, leur structure. 83. — leur nature. 86. — anciens comparés à ceux de l'époque actuelle. 104. — lacustres, leurs caractères. 105. — marins. 107.
Sel commun, en dépôts adventifs. 116. — ses gisements dans le terrain pénéen. 200, le grès bigarré. 205, le lias. 211.
Sepia fossile. 211.
Serpentines, ce qui indique leur origine. 158. — leurs différents âges. 265.
Siénite, roche composée. 260.
Sigillaria, genre de plantes des terrains houillers. 195.
Silice, en dépôts adventifs, tuf du geyser. 82, 116. — volatile à la température de fusion. 168.
Solfatares, ce que c'est. 43. — éteintes, dégagent de l'acide carbonique. 55.
Somma, produite avant le Vésuve. 29. — moment probable de son apparition. 295.
Sondages dans les mers, leur profondeur. 8. débris qu'ils ramènent. 87.
Soulèvement des côtes du Chili. 22.—lent de la Suède. 25. — cratère de soulèvement. 33. — soulèvements et affaissements anciens. 117. — ont produit les vallées. 135. — comment on les reconnaît. 275. — leurs systèmes. 275. — carte des principaux. 280, 295. — leurs époques relatives. 285.
Sources, perdues ou formées pendant les tremblements de terre. 21, 23. — jaillissantes. 59. — thermales, explication. 101. — ont produit des dépôts adventifs. 116.
Sources salifères du terrain pénéen, 200. du grès bigarré. 205. du lias. 211.
Sphérites, boules calcaires qui caractérisent certaines couches du Jura. 216.
Spirifères, caractères qu'ils fournissent. 182. — du calcaire carbonifère. 191. — des terrains pénéens. 201. — du lias. 207.
Squales, comment ils sont représentés dans le calcaire carbonifère. 197. — leur taille à l'époque de la craie. 227.
Staffa, grotte de Fingal. 150.
Stigmaria, genre de plantes du terrain houiller. 195.
Stratification, ce que c'est. 86. — ses diverses espèces. 177.
Stries et cannelures des roches. — 73.
Stromboli, laves qui y bouillonnent constamment. 42; sa haute antiquité. 53, 295.
Structure des dépôts de sédiment. 83.
Suède, soulèvement et affaissement. 25.
Surface terrestre, sa valeur en myri. carrés. 3. — relief de ses parties. 7.
Surfaces moutonnées, polies, striées. 73.
Systèmes de montagnes. 12.
Système de soulèvement, ce que c'est. 276.— en France. 280.— leurs époques relatives. 285. — les treize soulèvements successifs. 285.

T

Tableau des terrains de sédiments principaux. 175. — des soulèvements. 278, 285.
Talus de diverses espèces. 85.
Température moyenne de diverses contrées. 17.— était plus forte autrefois en Europe. 101. pourquoi. 104.
Temple de Sérapis. 121.
Térébratules, caractères qu'elles fournissent. 182. — du terrain devonien. 189. du terrain oolitique. 215. — du groupe

oxfordien. 216. — du groupe portlandien. 218.— de la craie. 227, 229.
Terrains de sédiments, leur description. 167. — leur nature. 183.
Terrain cambrien et silurien. 186. — devonien ou anthraxifère. 188. — de transition. 190. — houiller. 190. — pénéen. 200.— vosgien. 201.— keuprique, ou trias. 202.— jurassique ou lias. 206. — oolitique. 212. — oxfordien. 215. — corallien. 216. — portlandien. 218. — crétacé néocomien. 221. — wealdien. 223. — du grès vert. 224. — crétacé supérieur. 227.— parisien. 234.— de molasse. 239. — subapennin. 245. — erratique. 254.— de cristallisation. 258.
Terrains divers de la France. 271. — état de l'Europe lors de la formation des divers terrains. 296.
Terrains primitifs et de transitions, la valeur de ces expressions doit être oubliée. 173. — primitif, secondaire, tertiaire. 269.
Terre, forme, isolement, aplatissement aux pôles, chaleur intérieure 1 à 5, — étendue des terres et des mers. 6.— relief du sol. 8.— tremblements de terre. 19. — phénomènes volcaniques. 27. — composition de la croûte terrestre. 173.
Toadstone (Voy. Trapp. 155.).
Torrents, leurs effets en dégradation. 68. — boueux. 69. — ont transporté les blocs erratiques. 254.
Tours, cylindres, formes de montagnes. 9.
Tourbe, tourbières. leur formation. 92, 257. — servent de type à la formation de la houille. 113. — mouvement de translation. 70.
Trachyte des volcans modernes. 52.— nature, âges. 262, 266.
Transports des roches par les courants. 68.— par les glaces et glaciers. 72.
Trapps, leur origine. 155. — nature, âges. 261, 265.
Travertin, sa formation. 106.
Tremblements de terre. 19, 95.
Trias, ou terrain de grès bigarré, terrain keuprique. 202.
Trigonies du calcaire conchylien. 204. — du lias, 209. de la craie. 222.
Trilobites, caractères qu'elles fournissent. 180, 186.
Tufs calcaires, leur formation. 81, 106, 116.
Tuf ponceux, volcanique. 45.
Tufs siliceux. 83, 116.
Turrilites, coquilles caractéristiques de la craie. 180.

U

Uddewala, son dépôt coquillier soulevé. 120.
Unio (voyez Mulettes). 106.
Usure des rochers par les eaux. 73, 161.
Ussel, les houilles des environs enveloppées par le granite. 161.
Upper new sandstone and red marle, terrains de trias. 203.

V

Vagues et marées, leur action sur les côtes. 73.
Val del Bove, val Taoro, exemples d'effondrements. 125.
Vallées, leurs caractères, leurs formes, 10 à 13. — d'élévation. 131. leur origine, leurs espèces. 135.—influence des eaux sur leurs formes. 137.
Variolites. 262.
Vase des ports, formée de foraminifères et d'infusoires. 88.
Végétation à l'époque de la houille. 192 301. — à l'époque triasique. 204, 303. — à l'époque jurassique. 211, 214, 307. à l'époque de la craie. 224, 308. — à l'époque parisienne. 239, 312. — à l'époque de la molasse. 242, 313.— et du diluvium. 315.
Végétaux, debout dans les dépôts de combustibles. 102.— du grès houiller. 192. du grès bigarré. 204. — du lias. 211. — de la grande oolite. 214. — du groupe portlandien. 218. — de la craie. 224.— des terrains tertiaires. 234, 239, 242.
Velay, ses produits volcaniques, 54, 141.
Vésuve actuel et ancien. 29.
Vieux grès rouge. 184, 186,
Vivarais, ses produits volcaniques. 54, 141. — ses chaussées basaltiques. 149. époque de ses volcans. 293.
Volcans, définition. 30.— sous-marin. 30, 38. — leurs produits solides. 51. et gazeux. 54. — énergie de l'action volcanique. 51. — volcans actifs. 53. et éteints. 54, 140.— boueux. 57.— comment on reconnaît les volcans anciens. 140. — apparition de ceux de l'Auvergne et du Vivarais. 293.
Volume du globe terrestre. 3.

W

Wacke. 261.
Weald. 223.
Weisstein ou leptynite. 260.
Winstone ou trapp. 155.

Z

Zechstein, ou calcaire pénéen. 200.
Zemble (Nouvelle), blocs transportés par les glaces. 72.
Zinwald, amas métallifère et granitique encaissé dans un porphyre. 164.
Zuyderzée, sa formation 67, 75.

* 7-8511

SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES

SMITHSONIAN INSTITUTION
LIBRARIES
SMITHSONIAN INSTITUTION WASHINGTON D.C.

SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
3 9088 00245585 5
nhmin QE26.B56 1840
Min:eralogie-g:eologie /